



Automaation kehitysnäkymät, haasteet ja hyödyt ainespuun autokuljetusketjussa Suomessa

Pyry Seppälä
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Metsätieteiden maisteriohjelma
Metsien ekologia ja käyttö
Toukokuu 2020

| | | | |
|--|--|---|--|
| Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta | | Laitos/Institution– Department Metsätieteiden osasto, metsätieteiden maisteriohjelma | |
| Tekijä/Författare – Author Pyrö Seppälä | | | |
| Työn nimi / Arbetets titel – Title Automaation kehitysnäkökulmat, haasteet ja hyödyt ainespuun autokuljetusketjussa Suomessa | | | |
| Oppiaine /Läroämne – Subject Metsien ekologia ja käyttö | | | |
| Työn laji/Arbetets art – Level Maisterintutkielma | Aika/Datum – Month and year Toukokuu 2020 | Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 150 | |
| <p>Tiivistelmä/Referat – Abstract</p> <p>Raakapuun autokuljetus edustaa merkittävää kaukokuljetusmuotoa teollisuuden ainespuuologiassa, sillä autokuljetus edustaa noin 98,5 % kaikista metsäteollisuuden raakapuun kaukokuljetuksista. Teollisuuden ainespuun autokuljetustoiminta on suurien haasteiden edessä, sillä toiminnan korkeat tehokkuusvaatimukset, puulaatavien kuljettajien sekä rapautuva tieverkko pakottavat etsimään uusia ratkaisuja toiminnan jatkuvuuden ylläpitämiseksi. Automaatiolla on arveltu olevan mahdollisuus parantaa ainakin tehokkuutta, sillä ihmisen oman toiminnan tehokkuutta on vaikea enää parantaa.</p> <p>Tässä tutkimuksessa selvitettiin automaatiolla tavoiteltavia hyötyjä ainespuun eli pyöreän kuorellisen raakapuun sekä sivutuotteen (sahahake) autokuljetusketjuissa, ainespuun autokuljetusketjujen automaation kehitysnäkymiä sekä automaation haasteita ja kehitystarpeita ainespuun autokuljetustoiminnan toimintaympäristössä. Tarkastelu kohdistui pääasiassa ainespuun kuljetusajoneuvoihin sekä puutavaranostureihin, mutta jonkin verran myös ainespuun tehdasvastaanotto- ja purkutoimintoihin. Automaatiolla tavoiteltavia hyötyjä tarkastellaan erikseen tehokkuuden, kustannusten, turvallisuuden, ympäristövaikutusten sekä kuljettajien työssä viihtyvyyden ja kuljettajatyövoiman saatavuuden suhteen. Tutkimus perustui kirjallisuuskatsaukseen sekä teemahaastatteluihin. Kirjallisuuskatsauksen painottuessa yleisemmin tieliikenteen automaatioon, syvennettiin tietoutta ainespuun autokuljetusketjun automaatiosta teemahaastatteluilla, joissa haastatettiin 18 asiantuntijaa, jotka edustivat erilaisia suhteita ainespuun autokuljetustoiminnan automaatioon. Kirjallisuuskatsauksen rooli tässä tutkimuksessa oli teoriaohjaava, eli se ohjasi haastattelututkimusta ja tulosten tulkintaa. Kirjallisuuskatsaus ei toiminut hypoteesina eli haastattelututkimuksella ei pyritty testaamaan kirjallisuudessa esitettyjä teorioita.</p> <p>Ainespuun autokuljetus ja eritoten raakapuun autokuljetus, joka suuntautuu tienvarsivarastolta tehtaalte, edustaa aivan ääriesimerkkiä tieliikenteen automaatiosta. Raskaan liikenteen automaation pääpainopiste on maanteille suuntautuvassa kappaleetavara-liikenteessä. Maanteillä olosuhteet automaation toiminnalle ovat suotuisimmat kuin metsäteillä, joiden kunto vaihtelee huomattavasti. Seuraavan 3–5 vuoden kuluessa ajoneuvojen automaatio painottuu maantieajamiseen ja täten metsäteille automaatiota ei ole sovellettavissa. Ajoneuvojen puutavaranosturit tulevat kehittymään ja karkiohjausautomaatio yleistyy. Merkittävimmät kehitysaskeleet ajoneuvon sekä kuormanpurkukoneiden osalta tullaan kuitenkin saavuttamaan suljetuilla tehdas- ja terminaali-alueilla, joskaan ei aluksi laajassa mittakaavassa. Puutavaranosturin täysautomaatioon liittyy paljon haasteita, joten täysautomaatio ei ole tarkastelluilla aikahorisonteilla todennäköistä.</p> <p>Yli viiden vuoden kuluttua suljetuilla alueilla nähtiin olevan laajasti käytössä korkealle automatisoituja ajoneuvoja sekä kuormanpurkukoneita. Maanteillä korkea automaatio on mahdollista ja erilaiset letka-ajamisen muodot eritoten vakioiteilla sivutuotteen kuljetuksessa arvioitiin olevan operatiivisessa käytössä. Yli viiden vuoden päästä jonakin ajankohtana nähtiin myös metsä-tieajamiseen suunnattu automaatio mahdollisena, joskaan ajankohtaa ei osattu määrittää.</p> <p>Automaation arviointi kohtaan paljon haasteita ainespuun autokuljetuksen toimintaympäristössä, ehkä merkittävimmin teknologiset haasteet, tieverkon kunto sekä vastuukysymysten epäselvyydet. Vastuiden epäselvyydet osin myös haittaavat automaation hyväksyttävyyden syntymistä. Mikäli automaatiojärjestelmien ja kuljettajan väliset vastuut eivät ole selviä ja yksiselitteisiä, eivät kuljetusyrittäjät halua ottaa automatisoituja ajoneuvoja käyttöönsä. Automaatiolla kuitenkin arvioitiin olevan saavutettavissa hyötyjä tehokkuuden, kustannusten, turvallisuuden, ympäristövaikutusten ja kuljettajien työssä viihtyvyyden ja kuljettajatyövoiman saatavuuden suhteen. Hyödyt arvioitiin olevan helpoiten saavutettavissa suljetuilla tehdas- ja terminaaliympäristöissä, joissa muuta liikennettä on mahdollisuus rajoittaa. On kuitenkin otettava huomioon, etteivät kaikki hyödyt ole täysin yksiselitteisiä, vaan niiden tavoittelulla automaation keinoin saattaa olla myös kääntöpuoli. Esimerkiksi turvallisuuden parantuminen automaattisella ajamisella ja kuormaustoinnin voi vähentää inhimillisistä virheistä johtuvia onnettomuuksia, mutta voi tuoda uusia riskejä tullessaan, esimerkiksi ohjelmointiperäiset virheet sekä älykkäiden järjestelmien toiminnan ennakoimattomuus.</p> | | | |
| Avainsanat – Nyckelord – Keywords Ainespuun autokuljetuksen automaatio, automaatiotasot, puutavaranosturin automaatio, automaation hyödyt | | | |
| Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet) ethesis.helsinki.fi | | | |
| Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information | | | |

Sisällysluettelo

| | |
|--|----|
| ESIPUHE | 6 |
| KÄSITTEET | 7 |
| 1 TEOLLISUUDEN AINESPUUN KAUKOKULJETUS | 9 |
| 1.1 Raakapuun autokuljetusketju | 9 |
| 1.2 Teollisuuden ainespuun autokuljetusyrietykset Suomessa | 11 |
| 1.3 Teollisuuden ainespuun autokuljetuskalusto | 13 |
| 1.3.1 Raakapuun autokuljetuskalusto | 13 |
| 1.3.2 Sivutuotehakkeen autokuljetuskalusto | 15 |
| 1.4 Teollisuuspuun autokuljetuksen vaiheet | 16 |
| 2 TIELIIKENTEEN AUTOMAATIO | 19 |
| 2.1 Liikenteen automaation edelytykset | 19 |
| 2.2 Automaatiojärjestelmän suunniteltu toimintaympäristö | 22 |
| 2.3 Tieliikenteen automaation tasot | 23 |
| 2.4 Puutavaranostrurin automaation tasot | 28 |
| 3 SUOMEN TIEVERKKO JA AUTOMAATION VAATIMUKSET TIEVERKON OSALTA | 32 |
| 3.1 Suomen tieverkko | 32 |
| 3.1.1 Tieverkon jaottelu ja vastuut | 32 |
| 3.1.2 Maantiet | 33 |
| 3.1.3 Metsä- ja yksityistiet | 33 |
| 3.1.4 Katuverkko | 34 |
| 3.2 Suomen tieverkon olosuhteet ja erityispiirteet | 35 |
| 3.3 Automaattisen ajamisen edellytykset tieverkon osalta | 38 |
| 3.4 Liikenteeseen käytettävien alueiden luokittelu automaation kannalta | 39 |
| 4 TIELIIKENTEEN AUTOMAATION NYKYTILA JA KEHITYSNÄKYMÄT | 41 |
| 4.1 Tieliikenteen automaation nykytila | 41 |
| 4.2 Raskaan tieliikenteen automaation nykytila | 43 |
| 4.3 Raskaan tieliikenteen automaation tulevaisuuden näkymät | 45 |
| 4.4 Raskaan liikenteen automaation kehityshankkeita | 53 |
| 4.4.1 Yhdistelmäajoneuvojen letka-ajaminen | 53 |
| 4.4.2 Puutavara-autojen letka-ajokoe Kanadassa | 56 |
| 4.4.3 Tieliikenteen automaation hankkeet Suomessa ja Volvon autonominen sähkökuorma-auto | 58 |
| 5 RASKAAN LIIKENTEEN AUTOMAATIOILLA TAVOITELTAVAT HYÖDYT | 59 |
| 5.1 Automaattisen ajamisen hyödyt yleisesti | 59 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.2 | Visiot automaatiolle ainespuun autokuljetuksissa..... | 66 |
| 6 | TUTKIMUSONGELMA JA TUTKIMUKSEN TAVOITTEET | 67 |
| 6.1 | Tutkimusongelma..... | 67 |
| 6.2 | Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset | 68 |
| 7 | AINEISTO JA MENETELMÄT..... | 70 |
| 7.1 | Tutkimusmenetelmä | 70 |
| 7.2 | Haastateltavat ja otos..... | 74 |
| 7.3 | Haastattelujen toteutus..... | 76 |
| 7.4 | Haastatteluaineiston analysointi..... | 78 |
| 7.5 | Laatu ja luotettavuus | 80 |
| 8 | HAASTATTELUIDEN TULOKSET | 82 |
| 8.1 | Tulosten taustaa | 82 |
| 8.2 | Ainespuun autokuljetusketjun automaation nykytila | 83 |
| 8.2.1 | Ainespuun kuljetuskalusto: ajoneuvo..... | 83 |
| 8.2.2 | Puutavara-ajoneuvon puutavaranoisturi ja sivutuotehakkeen lastauskalusto..... | 86 |
| 8.3 | Ainespuun autokuljetuskaluston automaation kehitysnäkymät | 88 |
| 8.3.1 | Automaation kehitysnäkymät seuraavien 3–5 vuoden aikana | 88 |
| 8.3.2 | Automaation kehitysnäkymät yli 5 vuoden kuluttua..... | 93 |
| 8.4 | Automaation mahdollisuudet ja kehitystarpeet ainespuun autokuljetusketjussa | 96 |
| 8.4.1 | Teknologia..... | 96 |
| 8.4.2 | Infrastruktuuri | 99 |
| 8.4.3 | Lainsäädäntö ja vastuukysymykset..... | 100 |
| 8.4.4 | Hyväksyttävyyys | 103 |
| 8.5 | Automaatiolla tavoiteltavat hyödyt ainespuun autokuljetuksessa..... | 105 |
| 8.5.1 | Tehokkuus ja kustannukset..... | 105 |
| 8.5.2 | Turvallisuus | 108 |
| 8.5.3 | Ympäristövaikutukset | 110 |
| 8.5.4 | Kuljettajien työssä viihtyvyys ja työvoiman saatavuus | 110 |
| 9 | TULOSTEN TARKASTELU..... | 112 |
| 9.1 | Tutkimusmenetelmän ja haastattelun tulosten luotettavuuden arviointi | 112 |
| 9.2 | Havainnot haastatelluista | 114 |
| 9.3 | Ainespuun autokuljetuskaluston automaation nykytila ja kehitysnäkymät..... | 115 |
| 9.4 | Automaation mahdollisuudet, haasteet ja kehitystarpeet ainespuun autokuljetuksessa | 121 |
| 9.5 | Automaatiolla tavoiteltavat hyödyt ainespuun autokuljetuksessa..... | 126 |

| | |
|-------------------------|-----|
| 10 JOHTOPÄÄTÖKSET | 132 |
| 11 LÄHDELUETTELO..... | 137 |
| LIITE 1 | 149 |

ESIPUHE

Tämä tutkimus ainespuun autokuljetusten automaatiosta Suomen olosuhteissa oli tutkimuksena haastava, sillä suoranaista tietoa puun autokuljetusten automaatiosta oli todella niukasti saatavilla. Täten työssä piti soveltaa paljolti tieliikenteen automaation teorioita. Välillä piti myös hakea tietoa tiedealojen yli, jolloin sovellettavaa tietoutta päädyin etsimään jopa kirurgian automaation julkaisujen parista. Siis, miten oikein luonnehtisin tätä tutkimusta? Vaikea tähän kohtaan mitään fiksua todeta, mutta monesti tutkimuksen aikana tunsin, että vain taivas on rajana aiheessa, jossa valmista puun autokuljetusta koskevaa eksaktia tietoa on lähes olemattomasti.

Suurena apuna sekä tukena olivat tässä työssä pro gradu -tutkielmani ohjaajat, kaikki haastateltavat sekä vanhempani. Haluaisin kiittää suuresti tuesta ja ohjauksesta työni etenemisessä ohjaajaani erikoistutkija Pirjo Venäläistä ja erikoistutkija Asko Poikela Met-säteho Oy:stä sekä metsäteknologian yliopistonlehtori Veli-Pekka Kivistä ja logistiikan professori Bo Dahlinia Helsingin yliopistosta. Haluan kiittää myös kaikkia tutkimukseen osallistuneita haastateltuja henkilöitä tämän tutkimuksen mahdollistamisesta.

Tämä tutkimus oli tekijälleen erittäin mielenkiintoinen matka ennalta varsin tuntemattomaan automaation maailmaan.

KÄSITTEET

Ainespuun autokuljetus: Tässä tutkimuksessa käytetty termi, joka käsittää sekä pyöreän kuorellisen raakapuun sekä sivutuotehakkeen autokuljetuksen. Jompaankumpaan edellä mainituista erikseen viitattaessa käytetään joko termejä raakapuun tai sivutuotehakkeen autokuljetus.

Ajamisen automaatiojärjestelmä (Driving Automation System): Termi kuvaa kaikkien ajamisen SAE-automaatiotasojen 1–5 automaatiojärjestelmiä, jotka huolehtivat osasta tai koko dynaamisen ajamisen tehtävästä. Termi **Automated Driving System (ADS)** kuvaa puolestaan SAE-tasojen 3–5 ajoneuvon ohjelmistoa tai laitteistoa, joka pysyy huolehtimaan koko dynaamisen ajamisen suorittamisesta (DDT) jatkuva-aikaisesti riippumatta siitä, onko se tietyn ODD:n (ks. luku 2.2) rajoituksen alainen.

Automaatio: Itsetoimiva laite tai järjestelmä. Tässä tutkimuksessa termi käsittää SAE-tasot 1–5 ajoneuvon kuin myös puutavaranosturien osalta. Termillä ei ensisijaisesti viitata täysautonomiaan.

Automaatiojärjestelmän suunniteltu toimintaympäristö (ODD): Toimintaolosuhteet, joihin tietty ajamisen automaatiojärjestelmä tai ominaisuus on suunniteltu toimivaksi ja käytettäväksi

Automaattinen ajoneuvo: Ajoneuvo, joka pystyy ainakin osin suoriutumaan ajotehtävästä ilman kuljettajaa. Termillä viitataan SAE-tasojen 1–5 ajamisen automaatioon.

Autonominen ajoneuvo: SAE-tason 5 automaattiajoneuvo, joka kykenee suoriutumaan ajotehtävästä ilman kuljettajaa ja ODD-rajoitteita.

Digitalisaatio: Termillä ei ole olemassa yhtä vakiintunutta määritelmää. Yleisesti digitalisaatio ymmärretään älykkäiden ratkaisujen ja teknologian integroitumista eri toimialoille ja näiden liiketoimintaan sekä ihmisten arkeen.

Dynaaminen ajotehtävä (DDT): Käsittää kaikki ajoneuvon operointiin tieliikenneolosuhteissa tarvittavat reaaliaikaiset operationaaliset ja taktiset toiminnot lukuun ottamatta joitakin strategisia toimintoja, kuten kuljetusten aikataulutusta ja reittisuunnittelua.

Etäohjaus (Remote driver): Ajoneuvon ulkopuolelta suoritettava jatkuva-aikainen ajoneuvon pitkittäis- ja poikittaissuuntainen manuaalinen ohjaus. (SAE-International 2018) Vrt. Etävalvonta.

Etävalvonta tai etähallinta: Tässä tutkimuksessa käytetty termi, jolla viitataan ajoneuvon tai puutavaranoimittimen automaattisen toiminnan valvontaan etänä. Etävalvonnassa manuaalisia toimintoja suoritetaan vain tarvittaessa. Vrt. Etäohjaus. Etävalvonta mahdollistaa useiden ajoneuvojen ja työkonoiden toiminnan samanaikaisen valvomisen.

Letka-ajo (automaattinen): Peräkkäin kulkevien ajoneuvojen muodostama jono, jossa jonon ensimmäinen ajoneuvo ohjaa jonoa ja sen perässä ajavat ajoneuvot seuraavat sitä automaattisesti. Ajoneuvojen väliset etäisyydet ovat lyhyitä polttoainetaloudellisista syistä.

Robotti: Kone, joka pystyy suorittamaan jonkin työtehtävän automaattisesti. Ei yhtä vaikkeintunutta määritelmää. Robotiikka usein mielletään automaation osa-alueeksi.

SAE-tasoluokitus: SAE-Internationalin määrittelemä tieliikenteen automaation tasoluokitus, joka sisältää tasot 0–5.

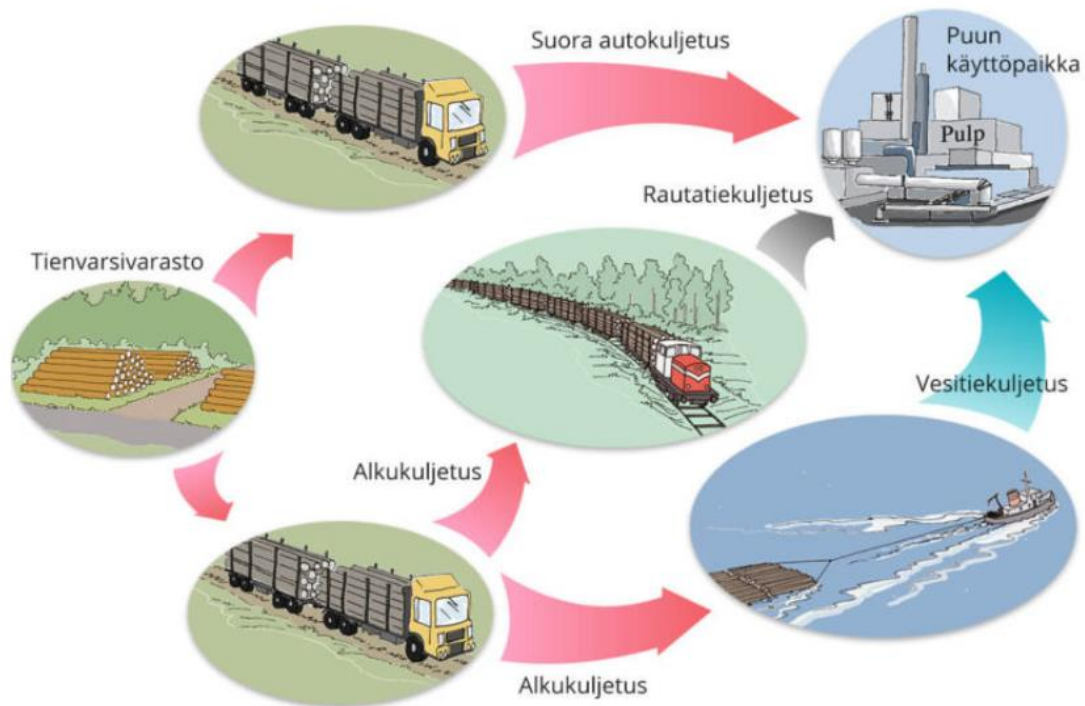
Teollisuuden ainespuu: Kooltaan (mitoiltaan) ja laadultaan saha- tai paperiteollisuuden tai muun puunjalostuksen raaka-aineeksi soveltuva puutavara. Termi kattaa raakapuun ja sivutuotehakkeen.

Tietoliikenneyhteydet: **3G:** Kolmannen sukupolven matkaviestinverkko. **4G:** Neljännen sukupolven matkaviestinverkko, joka sisältää **LTE**-tekniikan (*Long Term Evolution*). **5G:** Viidennen sukupolven matkaviestinverkko.

1 TEOLLISUUDEN AINESPUUN KAUKOKULJETUS

1.1 Raakapuun autokuljetusketju

Raakapuun kaukokuljetuksella tarkoitetaan yleisesti pyöreän kuorellisen jalostamattoman puutavaran kuljetusta leimikon tienvarsivarastolta tehtaan purkuterminaliin, autokuljetuksen väliterminaliin tai juna- tai vesikuljetusterminaliin (Kuva 1). Kaukokuljetusta edeltävä vaihe on yleisimmin kuormatraktorilla suoritettava puun lähikuljetus leimikolta tienvarsivarastolle kaukokuljetusta varten. Suomessa käytettäviä raakapuun kaukokuljetusmuotoja ovat maantie-, rautatie- sekä vesitiekuljetus. Valtakunnallisesti yleisimmät näistä kuljetusmuodoista ovat maantie- ja rautatiekuljetus (Strandström 2018). Vesitiekuljetuksen edustaessa varsin pientä osaa raakapuun kaukokuljetuksista on se kuitenkin alueellisesti merkittävä raakapuun kuljetusmuoto Vuoksen vesistön alueella (Metsäteho 2019 a).



Kuva 1. Raakapuun eri kuljetusketjut tienvarsivarastolta tuotantolaitokselle (Metsäteho 2016).

Suurin osa raakapuun kaukokuljetuksesta suuntautuu tienvarsivarastoilta suoraan tuotantolaitokselle. Raakapuukuljetukset ovat merkittävimpiä alemman tieverkon käyttäjiä, sillä raakapuun kuljetus alkaa lähes aina metsäautoteiltä tai muilta yksityisteiltä (Mäkelä ja Pennanen 2005). Koko Suomen ainespuun hakkuumäärä oli 67,2 milj. m³ vuonna 2018 ja 61,3 milj. m³ vuonna 2017 (Luonnonvarakeskus 2019 b). Nämä hakkuumäärät voidaan olettaa kyseisten vuosien kuljetusmääräksi, sillä tarkkaa tietoa kaukokuljetetun raakapuun määristä ei ole saatavilla Luonnonvarakeskuksen tai kenenkään muunkaan julkaisuista. Autokuljetus edusti 98,5 % kaikista metsäteollisuuden raakapuun kaukokuljetuksista (47,9 miljoonaa m³), sisältäen autokuljetuksen suoraan tienvarsivarastoilta tehtaalte, alkukuljetukset aluskuljetuksen lastauspaikalle, uiton pudotuspaikalle tai rautatieterminaaliiin sekä terminaalien väliset ajot (Strandström 2018). Suoraan tehtaille suuntautuneiden autokuljetuksien osuus oli 75 % raakapuun kaukokuljetuksista (Luonnonvarakeskus 2019 b), eli noin 46 miljoonaa m³. Rautateitse tehtaille kuljetettiin noin 23 % raakapuusta (Luonnonvarakeskus 2019 b), eli noin 14,1 miljoonaa m³. Luonnonvarakeskuksen (2019b) mukaan maanteitse kuljetettiin 57 % ja rautateitse 39 % raakapuun kuljetussuoritteesta (m³km). Vesistökuljetusketju (uitto ja aluskuljetus) edusti kaikista raakapuun kaukokuljetuksista noin 2 % (Luonnonvarakeskus 2019 b), eli noin 1,2 miljoonaa m³ (Strandström 2018).

Metsäteollisuuden maantieteellinen keskittyminen on pitkän ajan kuluessa pidentänyt raakapuun kuljetusmatkoja, mikä asettaa vaatimuksia tieverkon kunnolle sekä puukuljetusten tehokkuudelle (Lilleberg ym. 2012). Vuonna 2017 kaukokuljetuksen keskikuljetusmatka oli noin 159 kilometriä (Strandström 2018, Luonnonvarakeskus 2019 b). Autokuljetusta käytetään yleensä varsin lyhyillä kuljetusetäisyyksillä, joilla autokuljetus on kilpailukykyisin kaukokuljetusmuotoista. Vuonna 2017 raakapuun autokuljetusketjun keskikuljetusmatka oli 105 kilometriä, kun otetaan huomioon ainoastaan suoraan tehtaalte suuntautuneet autokuljetukset (Strandström 2018, Luonnonvarakeskus 2019 b). Rautatiekuljetusketjun keskikuljetusmatkaan sisältyy itse rautatiekuljetuksen lisäksi alkukuljetus rautatieterminaaliiin puutavara-autolla. Rautatiekuljetusketjun keskikuljetusmatka on noin 323 kilometriä (Luonnonvarakeskus 2019 b), josta alkukuljetusta keskimääräin 49 kilometriä (Strandström 2018). Vesitiekuljetusketjun keskikuljetusmatka oli 287 kilometriä alkukuljetukset mukaan lukien (Luonnonvarakeskus 2019 b), josta alkukuljetusta puutavara-autolla 43 kilometriä (Strandström 2018).

Kuljetusketjun toimitusvarmuus sekä kustannukset ovat tärkeimpiä Suomen metsäteollisuuden kilpailukykyyn vaikuttavia tekijöitä (Lilleberg ym. 2012). Viime vuosina puutueteteollisuuden kotimaisen ja tuontipuun kuljetuskustannukset (Suomen alueella) muodostivat noin 3,5–3,7 % kokonaiskustannuksista (Viitanen ja Mutanen 2015). Massa- ja paperiteollisuuden kuljetuskustannukset kotimaisen ja tuodun puun osalta ovat noin 2,1–2,4 % kokonaiskustannuksista (Viitanen ja Mutanen 2015).

Puun autokuljetustoiminnan ollessa isojen haasteiden edessä, kuten kuljettajapulan ja korkeiden tehokkuusvaatimusten, haetaan automaatiosta näihin sekä moniin muihin haasteisiin ratkaisua. Ajoneuvon kuljettajan työskentelyä on vaikea enää tehostaa muutoin kuin automatisoimalla osa toiminnoista, jolloin kuljettajalle jäisi enemmän aikaa käytettäväksi sellaisiin toimintoihin, jotka ovat puun autokuljetustoiminnan kannalta kriittisiä.

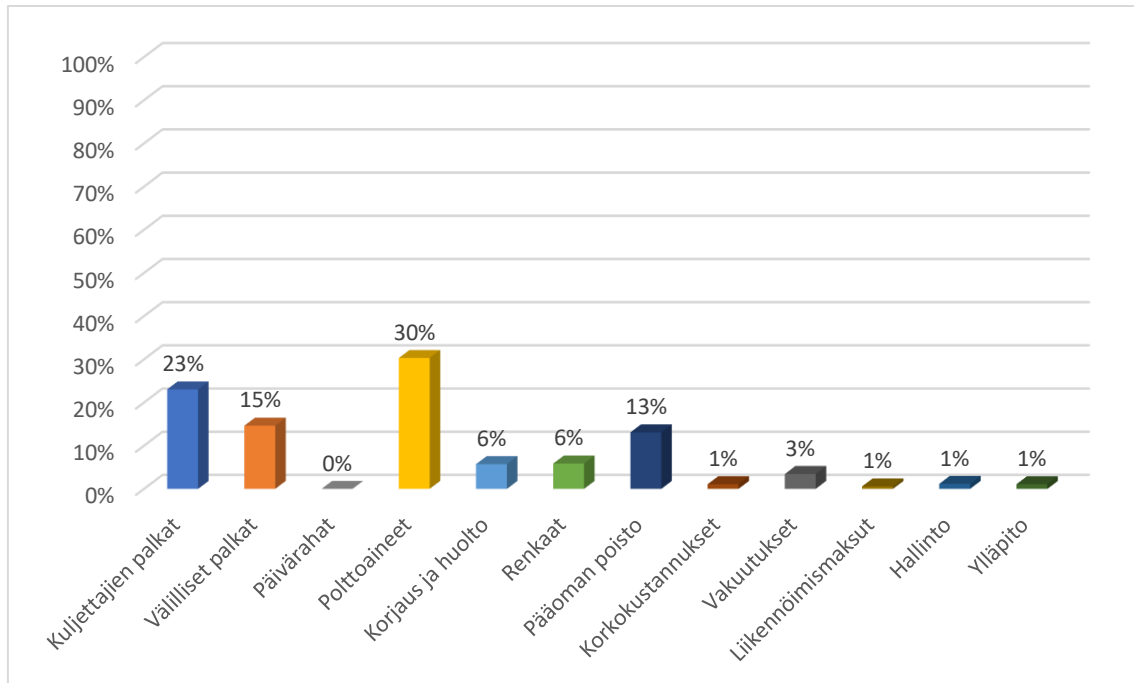
1.2 Teollisuuden ainespuun autokuljetusyrietykset Suomessa

Suomessa raakapuun autokuljetus muodostuu yksityisten autokuljetusyrittäjien metsäyhtiöille tarjoamista raakapuun kuljetuspalveluista (Metsäteho 2016). Kuljetusyrietyksiä on noin 650 ja tyypillisesti yrietyksellä on käytössään 1–3 puutavara-autoa (Metsäteho 2016). Kuljetusyrietykset solmivat autokuljetussopimuksen kuljetuksen tilaajan kanssa 1–3 vuodeksi kerrallaan (Metsäteho 2016).

Yhteensä Suomessa puutavara-autoja on keskimäärin 1600 (Metsäteho 2016). Vähintään 10 puutavara-autoa omistavia yrietyksiä on vajaa parikymmentä. Puutavara-autoja ajetaan yleisesti 2–3 vuorossa, joka autokohtaisesti merkitsee yli 180 000 km:n vuotuista ajosuoritetta ja yli 60 000 m³ kuljetettua raakapuuta vuodessa (Metsäteho 2016). Suuri kuljetusmäärä takaa ajoneuvokaluston korkean käyttöasteen. Keskimäärin puutavara-autojen pittoaika on noin viisi vuotta (Metsäteho 2016). Raakapuun autokuljetussektorin vuotuinen liikevaihto on noin 400 miljoonaa euroa (Metsäteho 2016).

Teollisuuden ainespuun kuljetusyrietysten kustannusrakenteessa korostuvat polttoaine- ja työvoimakulujen merkitys (Kuva 2). Polttoainekulut edustivat kuluista 30 %, tehdyn työn palkkakulut noin 23 % ja välilliset palkat 15 % (lomarahat, arkipyhälisät ym.)

(Tilastokeskus 2019). Poistot, vakuutukset, kaluston ylläpito sekä muut kulut muodostavat yhdessä myös noin 1/3 kokonaiskustannuksista (Metsäteho 2016). Taloudellinen ajotapa onkin erittäin merkittävä asia autokuljetusyrityksen tuloksen kannalta.



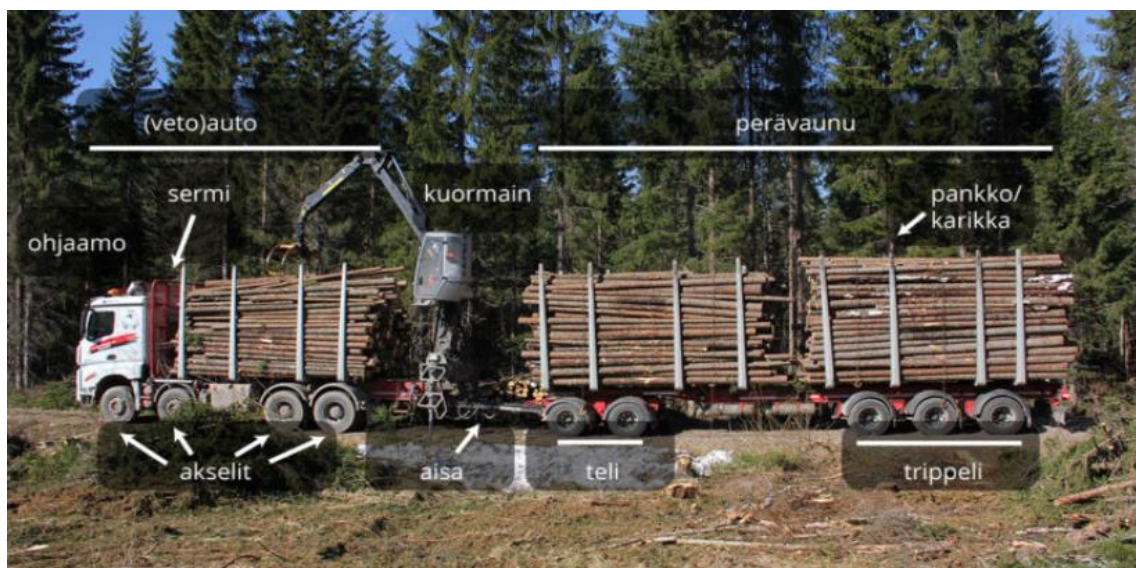
Kuva 2. Raakapuun autokuljetusyritysten kustannusrakenne ilman arvolisäveroa vuonna 2015. Tilastokeskus (2019).

Teollisuuden ainespuun autokuljetusyritysten kustannusrakenteessa vuotuiset poistot, kuten ajoneuvokaluston poistot ovat varsin pieni osa kokonaiskustannuksia muihin kustannuksiin, kuten palkka- ja polttoainekustannuksiin verrattuna (Kuva 2). Palkka- ja polttoainekustannusten suuri osuus korostaa kaluston käyttöasteen merkitystä yrityksen tuloksentekon näkökulmasta. Korkean käyttöasteen ansiosta hankitulla kalustolla on nopea takaisinmaksuaika. Vaikka ajoneuvokaluston osto onkin kerralla paljon pääomaa sitova investointi, ei investoinnin osuus vuosittaisessa kulurakenteessa ole kuitenkaan kovin suuri.

1.3 Teollisuuden ainespuun autokuljetuskalusto

1.3.1 Raakapuun autokuljetuskalusto

Metsätehon (2016) mukaan raakapuuta kuljetetaan maanteitse puutavara-autoyhdistelmillä, jotka koostuvat kahdesta ajoneuvosta, vetoautosta sekä perävaunuista. Vetoauto voi olla joko kuormakantava auto tai pelkästään perävaunuja vetävä perävaunuveturi. Perävaunu voi olla perävaunuveturiin kiinnittyvä puoliperävaunu tai varsinainen perävaunu, jota vetää kuormaa kantava auto. Tyypillisimmin käytössä oleva kalusto käsittää kolme- tai neliakselisen vetoauton, johon on kytketty viisiakselinen perävaunu (Kuva 3). Suomessa raakapuun kuljetukseen käytetään puutavara-autoyhdistelmää, joka koostuu kuormaa kantavasta vetoautosta sekä varsinaisesta perävaunusta, eli täysperävaunusta (Metsäteho 2016). Puoliperävaunuyhdistelmiä käytetään lähinnä yli 76-tonnisissa HCT-yhdistelmissä sekä pylväiden kuljetuksissa. Nykyisten 76-tonnisten puutavarayhdistelmien neliakselisten vetoautojen kokonaismassa vaihtelee 34–35 tonnin välillä ja viisiakselisten perävaunujen 41–42 tonnin välillä (Näsärö ja Korpilahti 2015). Näsärön ja Korpilahden (2015) mukaan todelliset ajoneuvokohtaiset massat riippuvat ajoneuvon rakenteesta ja varustelusta sekä kuorman ominaisuuksista, kuten kuljetettavasta puutavaralajista, vuodenajasta ja puuaineen tiheydestä sekä kuorman tiheydestä. Vajaita kuormia syntyy erityisesti kesäaikaan kuitupuukuormia kuljetettaessa.



Kuva 3. Tyypillinen puutavara-autoyhdistelmä, joka koostuu neliakselisesta vetoautosta kuormaimella varustettuna sekä viisiakselisesta täysperävaunusta (Metsäteho 2016).

Puutavara-ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu kokonaismassa on 76 tonnia ja pituus 34,50 metriä (Metsäteho 2016). Yhdistelmien suurin sallittu kokonaispituus kasvoi 21.01.2019 aiemmasta 25,25 metristä 34,5 metriin (Traficom 2019, Metsäteho 2019 b). Vetoauton pituus kasvoi aikaisemmasta 12,00 metristä 13,00 metriin (Liikenne- ja viestintäministeriö 2019). Vetoauton pituuden kasvattaminen 13 metriin mahdollistaa kahden pitkän kuitupuunipun kuljettamisen vetoautossa aikaisemman yhden nipun sijaan (Metsäteho 2019 b). Yhdistelmän suurin sallittu leveys on 2,55–2,60 metriä ja maksimi kokonaiskorkeus 4,40 metriä (Metsäteho 2016). Teleille ja akseleille kohdistuvat suurimmat sallitut massat on määritetty vielä erikseen (ks. Asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä (4.12.1992/1257)) (Metsäteho 2016). Yli 76 tonnia ja yli 34,5 metriä pitkät yhdistelmät luokitellaan HCT-ajoneuvoiksi (High Capacity Transport) (Traficom 2019). HCT-ajoneuvojen käyttö vaatii Liikenne- ja viestintävirasto Traficomin myöntämän poikkeusluvan. Edellytyksenä poikkeusluvalle on esimerkiksi uuden tekniikan testaus, tuotekehitys tai muu erityinen syy (Traficom 2018). Poikkeuslupia on myönnetty vuodesta 2013 lähtien (Liikenne- ja viestintäministeriö 2019, Metsäteho 2019 b).

Puutavara-autoissa, kuten yleensä kaikissa raskaissa ajoneuvoissa käyttövoimana on dieselöljy. Yli 44 tonnia massaltaan olevat ajoneuvoyhdistelmät vaativat vetoauton moottorin antotehoksi vähintään 5 kW jokaista yhdistelmämassan tonnia kohti (Asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä (1992/1257)). Tällöin kokonaismassaltaan 76 tonnin puutavara-ajoneuvoyhdistelmä vaatii vetoauton moottoritehoksi vähintään 380 kW, joka vastaa noin 516,8 hevosvoimaa.

Perusalustana puutavara-autolle toimii kuorma-auto, johon asennetaan perusrunko (apurunko, ei tosin kaikissa), etusermi, puutavarapankot, nosturin kiinnikkeet, kuormansidon-
talaitteet sekä tarvittavat hydraulikkalaitteet (Kuva 3) (Metsäteho 2016). Metsätehon (2016) mukaan yleisimmät Suomessa käytössä olevat kuorma-automerkit ovat Volvo, Scania, Mercedes-Benz ja Sisu.

Puutavara-autoissa kuormaamiseen käytetään ajoneuvokohtaista hydraulista kuormainta eli puutavaranoosturia (Kuva 3) (Metsäteho 2016). Kyseessä on vetoauton perään kiinnitettävä irrotettava kuormain, jota operoidaan nosturin yhteydessä olevilla

hallintalaitteilla. Useimmissa puutavaranostureissa on hytti, josta kuljettaja voi hallita kuormainta säältä suojassa, mutta myös hytittömiä kuormaimia löytyy. Ainespuun kuormauksessa nosturissa käytetään kahmariä eli ”kouraa”, jolla puutavara nostetaan ajoneuvon kuormatilaan (Metsäteho 2016).

1.3.2 Sivutuotehakkeen autokuljetuskalusto

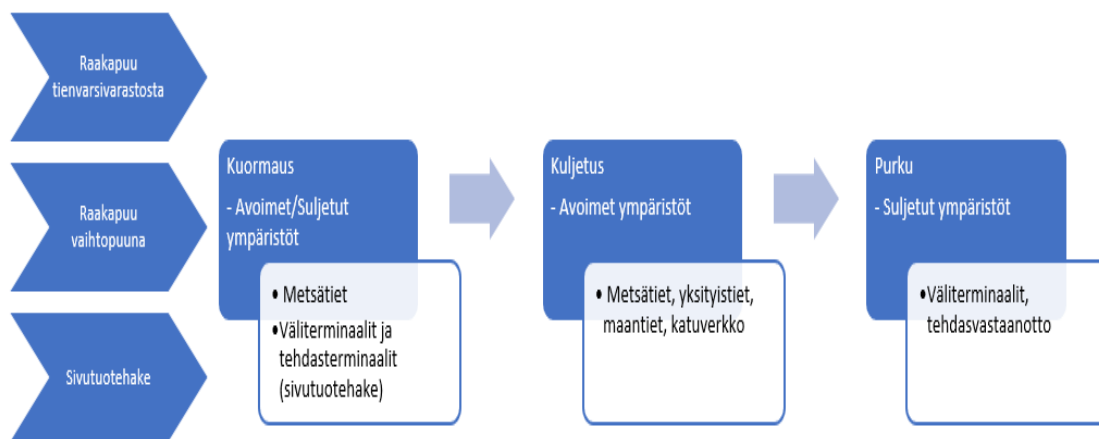
Sivutuotehakkeen (sahahake) autokuljetuksissa käytetään samaa kalustoa kuin metsähakkeen ja turpeen kuljetuksissa (Metsäteho 2016). Sivutuotehaketta kuljetetaan yhdistelmäajoneuvolla, joka on varustettu umpinaisilla kuormatiloilla, esimerkiksi hakekonteilla, hakkeen pölyämisen ja säälle altistumisen estämiseksi kuljetuksen aikana (Kuva 4) (Venäläinen 2019). Sivutuotehakkeen irtotiheys vaihtelee 230–350 kg/i-m³ haketyypeittäin ja vuodenajan mukaan (Venäläinen 2019). Hakeyhdistelmien omamassat ovat puutavarayhdistelmiin verrattuna suuremmat johtuen hakkeen purkulaitteista (Venäläinen 2019). Hakeyhdistelmät kuormataan sahoilla joko pyöräkuormaajilla tai hakesiiloista valuttamalla. Yhdistelmien purkaminen tapahtuu joko sivukippauksella, ketjupurulla, takakippauksella tai kävelevän lattian avulla (pituussuunnassa liikkuvat lattiapalkit kuormatilassa) (Metsäteho 2016).



Kuva 4. Sivutuotehaketta kuljettava 64-tonninen ajoneuvoyhdistelmä. Kuva: Kuljetusliike Wickström Oy.

1.4 Teollisuuspuun autokuljetuksen vaiheet

Ainespuun autokuljetuksen työvaiheita (Kuva 5) ovat kuormausvaihe, kuormattuna ajaminen, kuorman vastaanotto ja mittaus, kuorman purkaminen, purkupaikalla viipyminen, tyhjänä ajaminen ja tauot sekä muut keskeytykset (Metsäteho 2016). Jokaiseen työvaiheeseen sisältyy useita eri tehtäviä. Esimerkiksi raakapuun kuormaukseen sisältyy yhdistelmän kääntäminen, siirtymiset pinojen välillä, itse kuormaustyö, kuorman sidonta ja lopuksi kuormatietojen tallennus tietojärjestelmään (Metsäteho 2016). Raakapuun käsittely-yksikkönä on kuormaimen kouraisutaakka tai ajoneuvokuorman nippu, jolloin käsittely-yksikön koko on täysin riippuvainen raakapuun ominaisuuksista (Korpilahti 1992).



Kuva 5. Teollisuuden ainespuun autokuljetuksen vaiheet. Kussakin vaiheessa on erilaisia ajoympäristöjä edustettuina. Työn painopiste on jalostamattoman puun autokuljetusketjun tarkastelussa. Energiapuu-kuljetukset on rajattu työn ulkopuolelle.

Kuormausympäristö riippuu kuljetettavasta puutavarasta. Kuljetuksen lähtöpisteen ollessa raakapuun tienvarsivarasto, toimii kuormausympäristönä tie, joko yksityis-, metsä- tai joissakin tapauksissa maantie. Sama pätee myös metsäyhtiöiden välisissä vaihtopuukuljetuksissa. Sivutuotehakkeen kuljetus alkaa pääosin päällystetyltä tehdas- tai terminaalialueelta, kuten myös tuotantolaitosten väliset vaihtopuukuljetukset sekä pyöreän puun terminaalialueella. Hakkeen kuormaus tapahtuu sahalaituksen terminaalialueella, joko pyöräkuormaajalla tai hakesiilosta painovoimaisesti yhdistelmäajoneuvon kuormatilaan valuttaen.

Metsätehon (2016) mukaan kuljetus alkaa seuraavasti: Metsästä tienvarsivarastoon kuljetetusta valmiista raakapuuerästä laaditaan kuljetustilaus, joka lähetetään autokuljetusyrittäjälle. Tilaus voi olla tarkasti määritelty ajoneuvo tai kuormakohtainen määräys tai avoin tilaus, jossa kuljetusyritykselle annetaan toimituspaikkakohtaiset puutavaralajien kuljetusmäärät tilauksen ajanjaksolle sekä käytettävissä olevat lähtövarastot. Valmiit erät ovat nähtävissä puutavara-autojen tietokoneella. Kuljetusyrittäjät pääosin laativat ajoneuvokohtaiset kuljetusmääräykset ja reititykset.

Kuormaus tulee pyrkiä suorittamaan päätieverkon ulkopuolella, sillä puutavaran varastointi kuormausta varten kanta- ja valtateiden viereen tai vierialueille sekä tiealueilla, joilla pysähtyminen on kielletty, on kielletty ilman tienpitäjänä lupaa (Väylävirasto 2019 b).

Kuormaamiseen tienvarsivarastosta käytetään ajoneuvoon kiinnitettyä irrotettavaa hydrauliista kuormainta (Metsäteho 1997, Metsäteho 2016). Kuormaimen kuormainvaaka mittaa kuorman massan, jonka avulla voidaan välttää ylikuormien muodostumista (Metsäteho 1997). Raakapuukuorma ladotaan hieman kuperaksi, jotta pyöreät puut saadaan sidotuksi toisiaan vasten mahdollisimman tiukasti, eivätkä pölkyt pääse ajon aikana liikkumaan (Metsäteho 1997). Kuormauksen jälkeen ajoneuvon kuljettaja sitoo puutavaran liinoilla tai ketteingeillä ajoneuvon alustaan tai kuormakoriin, ettei kuorma pääse leviämään ja putoamaan kyydistä. (Metsäteho 2016)

Kuormain voidaan irrottaa hyötykuorman kasvattamiseksi. Kuormaimen massan ollessa noin 3 tonnia, tarkoittaa kuormaimen irrottaminen 3,5–4 m³ lisää hyötykuormaa (Metsäteho 2016). Nosturia ei tosin irroteta, mikäli kyseessä ovat lyhyet kuljetusmatkat, keräilyajot, ajot rautatie- tai vesitiekuljetuksen lastauspaikoille tai monipisteajot, joissa uudet kuormat haetaan eri varastopaikoilta (Metsäteho 1997). Metsätehon (2016) mukaan pääsääntöisesti kuormainta ei irroteta, mikäli sitä tarvitaan kuorman purkamisessa ja/tai paluukuorman tekemisessä. Pyrkimykset tyhjänä ajamisen vähentämiseksi meno–paluu- sekä monipistekuljetuksilla ovat luoneet tarpeen pitää kuormainta mukana (Metsäteho 2016).

Kuormauksen ja kuljetuksen aikana mittauserien on pysyttävä erillään toisistaan, jotta tehtaalla kuorma voidaan mitata eräkohtaisesti (Metsäteho 2018). Erät on eritelty niin kutsutussa nippukaaviossa, jossa on merkittynä mittauserien sijainti kuormassa, erien tunnistetiedot (eränumerot) sekä puutavara-auton kuormainvaa'alla mitatut eräkohtaiset massat (Metsäteho 2018). Nykyisin nippukaavio lähetetään tehtaalle ajoneuvon tietokoneelta suoraan tuotantolaitoksen mitta-asemalle ennen kuorman saapumista tuotantolaitokselle (Metsäteho 2018). Erät, jotka on arvottu otanta- tai kontrollimittausta varten, joko ohjataan suoraan mittaukseen tai puretaan varastokentälle erilleen muista eristä odottamaan otantamittausta (Metsäteho 2018).

Raakapuun kuljetus tienvarsivarastolta tehtaalle sijoittuu erilaisiin tieympäristöihin: metsä- ja yksityisteihin, kaduille, alemmalle tieverkolle, pääteille sekä suljetuille yksityisalueille (Kuva 5). Yleensä raakapuun kuljetus alkaa metsäteiltä ja päättyy suljetulle yksityisalueelle (terminaali- ja tehdasalueet). Raakapuuta kuljetetaan myös terminaalien kautta, jolloin tienvarsivarastosta puu ajetaan ensin terminaaliin odottamaan jatkokuljetusta joko auto-, rautatie- tai vesitiekuljetuksena.

Kuljetuksia rajoittavat eniten teille asetetut painorajoitukset sekä ajokiellot, joita on erityisesti syys- ja kevätkelirikkoaikoina. Kelirikko-olosuhteiden vallitessa teiden kantavuus alenee merkittävästi, joten kuljetukset pyritään suuntaamaan mahdollisimman hyväkuntoisille ja kantaville teille (Metsäteho 1997).

Tuotantolaitosten välinen sivutuotehakkeen kuljetus sijoittuu pääosin päällystetyille maanteille. Hakkeen lastaus- ja purkupaikoista on yleensä yhtenäinen päällystetty tieyhteys maanteille, jolloin ajo- ja kantavuusolosuhteet ovat paremmat kuin sorateilla toimittaessa. Täten myöskään suuria tiestön kantavuuden vaihteluja ja niistä aiheutuvia rajoitteita ei esiinny sivutuotehakkeen kuljetuksissa.

Raakapuun vastaanotto käsittää tehdasmittauksen, kuormien purkamisen ja siirtämisen käyttöön ja varastoihin sekä varastoinnin (Oijala ja Terävä 1994). Vastaanotto rajautuu tehtaan portin ja kuorimon syöttökuljettimen välille (Oijala ja Terävä 1994). Tehdasvastaanottoon saapuva puutavara-auto tunnistetaan yleensä automaattisesti rekisterinumeron perusteella ja mittauserät rekisteröidään vastaanottojärjestelmään (Metsäteho 2018).

Mittaja tarkistaa vastaanottoerän määrän ja laadun sekä myöntää puutavara-autolle purkuluvan (Metsäteho 2018). Raakapuuerien mittausta (punnitus) pyritään tekemään välittömästi purkamisen yhteydessä, joskaan se ei ole aina mahdollista (Metsäteho 2018). Mikäli välitöntä mittausta ei pystytä suorittamaan, mitattavat erät puretaan varastokentälle ja erät erotellaan toisistaan selkein merkinnöin (Metsäteho 2018). Mittaus- ja lajittelutietoa hyödynnetään tuotannonohjauksessa sekä kuljetusten tilityksessä kuljetusyrittäjille (Metsäteho 2010).

Pyöreästä puusta koostuvien kuormien purkaminen tapahtuu pääasiassa kurottajaturkeilla, mutta purkuun käytetään myös pyöräkuormaajia, materiaalinkäsittelykoneita sekä puutavara-autojen omia kuormaimia (Venäläinen ja Ovaskainen 2016). Korpilahden (1992) mukaan kuorma voidaan purkaa suoraan prosessiin (kuorimon syöttöpöytä, sahan lajittelukuljetin) tai varastoon joko lyhyt- tai pitkäaikaista varastointia varten. Varastoitu raakapuu toimii puskurina kuljetusten ja puunkorjuun kausivaihtelun aiheuttamille puuvirtojen vaihteluille. Varastoinnissa on tärkeää puun laadullisten ominaisuuksien säilyttäminen (Korpilahti 1992). Sivutuotehakkeen purkaminen tapahtuu joko itsepurkavan haakeauton, kauhanosturin tai kauhakuormaajan avulla (Venäläinen ja Ovaskainen 2016).

Vastaanottoerien luovutuksesta ja vastaanotosta laaditaan vastaanottotodistus. Nykyisin vastaanoton asiakirjat välitetään sähköisesti puunhankintaorganisaation tietojärjestelmiin (Metsäteho 2018).

2 TIELIIKENTEN AUTOMAATIO

2.1 Liikenteen automaation edelytykset

Tieliikenteen automatisaatiosta ja robotisaatiosta puhuttaessa käytetään usein termiä älykäs automaatio (Arola ja Antikainen 2017). Älykäs automaatio kohdistuu pääosin liikennevälineiden kuljettamiseen ja operointiin tarkoituksena automatisoida ihmisen vastuulla olevia toimintoja tieliikenteessä (Arola ja Antikainen 2017). Älykäs automaatio terminä viittaa robotiikkaan, jossa laite yhteydessä sitä ohjaavaan järjestelmään kykenee

toiminaan itsenäisesti, havainnoimaan ympäristöään, oppimaan keräämänsä informaation avulla sekä päätöksentekoon ohjelmistoihin yhdistettävien keinoälyn, sensoreiden ja esineiden internetin avulla (Arola ja Antikainen 2017). Innamaa ym. (2015) määrittelee automaattiajamisen ajotapahtumana, jossa automatiikka osittain tai kokonaan vastaa ajamisesta.

Automaattisen liikenteen toimivuuden kannalta laajamittainen ja kattava tiedonkeruu, tiedon tehokas analysointi ja muodostetun informaation hyödyntäminen, liikenteen taustajärjestelmien automaatio ja liikenteen ohjaus ovat keskeisiä kehitysalueita (Arola ja Antikainen 2017). Erityisesti datan käsittely ja hyödyntäminen ovat suurimpana tekijänä vaikuttamassa liikenteen automaatiokehitykseen. Arolan ja Antikaisen (2017) mukaan ajoneuvoista, ajamiseen liittyvistä palveluista sekä älykkästä infrastruktuurista syntyy todella suuria määriä dataa, jonka tehokas käsittely ja hyödyntäminen on hankalaa, etenkin kun oletetaan automaattiajamisen vaativan laadukasta datan keräystä ja analysointia reaaliajassa. Myös käyttöoikeus-, tietoturva ja vastuukysymykset ovat suurilta osin ratkaisematta (Arola ja Antikainen 2017, Innamaa ym. 2015).

Ajoneuvojen toimiva automaatio vaatii ajoneuvoilta verkottuneisuutta eli tiedonvaihtoa infrastruktuuriin (V2I), toisiin ajoneuvoihin (V2V) sekä toimintaa ohjaaviin ohjelmistoihin ja taustajärjestelmiin (V2X), vaikka moni turvallisuuteen ja ajamisen automaatioon liittyvä sovellus hyödyntääkin ajoneuvon omia sensoreita (ERTRAC 2019 b, Kulmala ym. 2019). Verkottuneet automaattiset ajoneuvot nähdään tällä hetkellä merkittävimpinä automaattisen tieliikenteen mahdollistajina (ERTRAC 2019 b). Esimerkiksi letka-ajon edellytys on ajoneuvojen välinen verkottuneisuus (V2V), jolloin esimerkiksi ajoneuvojen ajonopeudet saadaan sovitettua toisiinsa (Kulmala ym. 2019). Verkottuneesta ajamisesta käytetään lyhennettä CAD (*Connected Automated Driving*). Verkottuneisuus mahdollistaa liikenteen sujuvuuden, automaattisten autojen ajamisen yhteensovittamisen sekä tilanteiden ennakkoinnin. Kaiken kaikkiaan verkottuneisuus voi parantaa liikennevirtojen tehokkuutta, turvallisuutta, mukavuutta sekä mahdollistaa ajoneuvojen liikkumisen (ERTRAC 2019 a ja b).

Paikannustarkkuus merkitsee mahdollisuutta yhdistää kerätty informaatio fyysiseen sijaintiin paikkatiedoksi (Arola ja Antikainen 2017). Toimiva tiedonsiirto vaatii tietosuojaa

ja tietoturva-asioiden huomioonottamisen kaikilla automaattisen liikenteen osa-alueilla, jotta tietoturvan olisi riittävällä tasolla vakuuttaakseen kuluttajat automaattisten liikennevälineiden eduista (Arola ja Antikainen 2017). Edellä mainituitten seikkojen takia ajoneuvot kehittyvät kohti tietoteknisiä päätelaitteita, jolloin ajoneuvojen kehityskulkuun vaikuttaa yhä voimakkaammin ICT-alan kehitys (Arola ja Antikainen 2017). Tieliikenteen älykkään automaation kehitys vaatii tieväylien ja ajoneuvojen varustamista erilaisilla laitteilla ja sensoreilla (Arola ja Antikainen 2017).

Automaattinen ajaminen tarvitsee toimiakseen ainakin jossain määrin verkottumista ympäröivään liikenteeseen ja infrastruktuuriin. Kuten aiemmin mainittiin, verkottuneisuus on ehto korkean tason tieliikenteen automaatiolle. Tieliikenteen automaatio tarvitsee nopeaan tiedonsiirtoon kykenevää verkkoteknologiaa, joka nopeutensa lisäksi kykenee siirtämään suuria tietomääriä (Innamaa ym. 2015). Verkkojen on tämän lisäksi oltava laadullisesti riittäviä, toimintavarmoja sekä eri järjestelmien yhteistoiminnallisuuden mahdollistavia (Arola ja Antikainen 2017). Tietoliikenneyhteydet vaihtelevat matkapuhelinverkkoyhteydestä (3G/LTE) aina lyhyen kantaman radioliikenteeseen (Innamaa ym. 2015). Tiedonsiirtokapasiteetin kannalta 5G-mobiiliteknologia on merkittävässä asemassa mahdollistamassa suurten datamassojen siirron ohjelmistojen ja laitteiden välillä (Arola ja Antikainen 2017).

Automaattinen ajoneuvo tarvitsee toimiakseen vähintään yhteyden mobiiliverkkoon olosuhde- ja paikkatietojen ajantasaistukseen (Innamaa ym. 2015). Tämänhetkinen matkapuhelinverkko ei vielä ole kykenevä tähän ja 5G-verkolta odotetaankin tähän ongelmaan vastausta. 5G-verkko on 3G- ja 4G -verkkojen seuraaja ja näitä tehokkaampi (ERTRAC 2019 b). 5G-verkon kehityksen tavoitteita ovat liikkuva laajakaista, massiivinen konetyyppinen kommunikaatio, alhainen tiedonsiirron viive (latenssi) ja äärimmäinen luotettavuus (Pöyskö ym. 2016). 5G omaa suuren datan välityskyvyn (suoritusnopeus) sekä mahdollistaa suuren määrän verkkoon liitettyjä laitteita, jolloin 5G mahdollistaa muun muassa esineiden internetin (IoT) (Kulmala ym. 2019). 5G-verkon käyttöönoton on arvioitu tapahtuvan 2020-luvun alkupuolella (Pöyskö ym. 2016).

Tiedonsiirron lisäksi tarvitaan data-analytiikkaa, joka pystyy analysoimaan suurta datamäärää. 5G-verkko yhdistettynä suurten tietomäärien (Big Data) analytiikkaan

pilvipalveluineen ja -laskentoineen mahdollistaa suuren datan siirto-, analysointi-, ja hallintakapasiteetin (ERTRAC 2019 b). 5G mahdollistaa tieliikenteen ajoneuvojen verkottumisen myös toisiin autoihin (V2V) sekä ympäröivään infrastruktuuriin (V2I) (ERT-RAC 2019 b).

2.2 Automaatiojärjestelmän suunniteltu toimintaympäristö

Liikenteen automaation mahdollisuuksiin ja rajoitteisiin liittyy keskeisesti termi *Operational Design Domain (ODD)*, joka kuvaa toimintaolosuhteita, joihin tietty ajamisen automaatiojärjestelmä tai ominaisuus on suunniteltu toimivaksi ja käytettäväksi (SAE International 2018, Innamaa ym. 2015, Kulmala ym. 2019). ODD:stä käytetään epävirallista suomennettua termiä ”järjestelmän suunniteltu toimintaympäristö” (Viranomainen A). SAE-Internationalin (2018) mukaan ODD sisältää ympäristölliset, maantieteelliset ja vuorokaudenajasta johtuvat rajoitteet sekä tiestön ominaisuudet ja liikenteen, mutta ei ole millään tavalla rajoittunut pelkästään edellä mainittuihin. Nykyisen oletuksen mukaan jokaisella ajoreitillä on useita ODD-ympäristöjä ja täten järjestelmien toimintaolosuhteiden rajoittuneisuuden vuoksi joudutaan vaihtamaan ajamisen toimintoja ihmisen ja järjestelmän välillä automaatiojärjestelmän ODD:n ulkopuolelle mentäessä (SAE International 2018). Esimerkkinä ODD:stä SAE (2018) esittää automatisoidun ajojärjestelmän, joka on suunniteltu ohjaamaan ajoneuvoa vähäliikenteisillä ja hyvin kontrolloiduilla sekä hyväkuntoisilla maantiellä hyvien sääolojen vallitessa.

Kulmala ym. (2019) mukaan ODD:n määritelmän tulee sisältää seuraavat asiat:

- Automaatiojärjestelmälle soveltuvat tietyypit (turvallisuuden kannalta)
- Maantieteellinen alue
- Nopeusalue
- Ympäristöolosuhteet: sää, vuorokaudenaika,
- Muut rajoitteet

On huomattava ODD:n pätevän vain liikenteen automaation tasoilla 1–4 (ERTRAC 2019 b, SAE International 2018). Tasolla 0 ei vallitse automaatiota, vaan kuljettajana toimii ihminen täysimääräisesti. Tasolla 5 täydellisen automaation ja autonomisuuden vallitessa

automatisoitu ajoneuvo ei ole rajoittunut toimintaolosuhteiden osalta, vaan pystyy automaatiojärjestelmän puolesta toimimaan kaikissa sellaisissa olosuhteissa, joissa ajaminen ylipäänsä on mahdollista (SAE International 2018). Tason 5 ajoneuvon automaation katsotaan olevan ihmiskuljettajan täysin korvaava. Näin ollen voidaan sanoa automaatiojärjestelmän pystyvän suoriutumaan ainakin samoissa toimintaolosuhteissa kuin ihmiskuljettajan (SAE International 2018).

ODD siis määrittää tasoja 1–4 edustavien sovellusten toiminnan rajoitteet ja toimintaolosuhteet, jotka on otettava huomioon jo ajoneuvojen suunnitteluvaiheessa (SAE-International 2018). Mikäli automaatiojärjestelmä joutuu ODD:nsa ulkopuolelle (*ODD exit*), tulee järjestelmän tai ihmiskuljettajan ottaa ajoneuvo hallintaansa (dynaamisen vara-ajamisen suorittaminen: *DDT fallback*), jottei ajoneuvon ODD:n ulkopuolelle joutuminen vaaranna liikenneturvallisuutta (SAE International 2018, Kulmala ym. 2019). Vara-ajamisen suorittaminen tähtää riskien minimoimiseen ajoneuvon joutuessa ODD:nsa ulkopuolelle tai automaatiojärjestelmän kohdatessa häiriön, jolloin ajoneuvo saatetaan minimoitujen riskien tilaan (*Minimal Risk Condition*). Tällöin ajotehtävä keskeytetään tai ajoneuvolla ajamista jatketaan ihmiskuljettajan suorittamana (*Resumed DDT performance*) (SAE International 2018, Kulmala ym. 2019). Ajoneuvon saattaminen minimoitujen riskien tilaan voi käytännössä tarkoittaa ajoneuvon hallittua pysäyttämistä ajoradan sivuun liikennettä vaarantamatta (SAE International 2018, Kulmala ym. 2019).

2.3 Tieliikenteen automaation tasot

Luokiteltaessa ajoneuvojen automatiikan vallitsevuutta ajoneuvossa, käytetään yleisesti yhdysvaltalaisen autoalan standardointijärjestön SAE:n (Society of Automotive Engineers) määrittelemää kuusiportaista asteikkoa (Taulukko 1) (Arola ja Antikainen 2017). Tieliikenteen automaation tasoja on kuusi, alkaen tasosta 0 (ei automatisoitu ajoneuvo) ja päättyen tasoon 5, jossa ajoneuvo on täysin automatisoitu ja autonominen. Tasot voidaan jaotella kahteen ryhmään: järjestelmiin, joissa kuljettajana toimiva ihminen seuraa ajoympäristöä (OEDR) (tasot 0–2) ja järjestelmiin, joissa itse järjestelmä on täysin vastuussa ajoympäristön seuraamisesta ja havainnoinnista (tasot 3–4) (Innamaa ym. 2015, SAE International 2018).

SAE-International (2018) määrittelee dynaamisen ajotehtävän (DDT) seuraavasti: DDT (*Dynamic Driving Task*) käsittää kaikki ajoneuvon operointiin tieliikenneolosuhteissa tarvittavat reaaliaikaiset operationaaliset ja taktiset toiminnot lukuun ottamatta joitakin strategisia toimintoja, kuten kuljetusten aikataulutusta ja reittisuunnittelua. DDT koostuu sekä ajoneuvon pitkittäis- ja poikittaissuuntaisesta hallinnasta (Taulukko 1) (*Sustained lateral and longitudinal vehicle motion control eli ”Ohjaus, kiihdyttäminen ja jarrutus”*) sekä ympäristön monitoroinnista OEDR (*Object and Event Detection and Response eli ”Ympäristön monitorointi”*). OEDR käsittää ajoympäristön seurannan (objektien sekä tapahtumien havainnointi, tunnistus, luokittelu sekä reaktion valmistelu) sekä ajoympäristön seurannan aikaansaaman tarkoituksenmukaisen toiminnan (SAE International 2018). OEDR on myös DDT Fallback:in eli dynaamisen vara-ajamisen osatehtävä (SAE International 2018). Dynaamisen ajamisen varasuorittajalla (DDT Fallback) tarkoitetaan toimijaa, joka ottaa dynaamisen ajotehtävän (DDT) haltuunsa, mikäli automatiikka syystä tai toisesta ei pysty huolehtimaan dynaamisesta ajamisesta. Automaation kattavuus viittaa ODD-termiin (SAE International 2018).

Automaation tasolla 0 ihmiskuljettaja vastaa kaikista dynaamisen ajamisen tehtävistä (DDT), joihin kuuluvat ympäristön monitorointi, ohjaus, kiihdyttäminen ja jarruttaminen (SAE International 2018, Innamaa ym. 2015). Ajoneuvo varustettuna automatisoidulla vaihteistolla kuuluu tasolle 0, sillä vaikka itse vaihteiston toiminta onkin täysin automatisoitu, ei järjestelmä kuitenkaan säätele automaattisesti ajoneuvon liikkeitä pituussuunnassa (Slowik ja Sharpe 2018).

Tasolla 1 vallitsee kuljettajaa avustava automaatio, joka kattaa tilannekohtaisia toimintoja ohjaamiseen, kiihdyttämiseen tai jarruttamiseen liittyen (Innamaa ym. 2015). Ihmiskuljettaja on kuitenkin dynaamisen ajamisen pää- ja varasuorittaja sekä vastuussa ympäristön tarkkailusta kaiken aikaa (SAE International 2018, Innamaa ym. 2015).

Tason 2 osittainen automaatio kattaa useita dynaamisen ajamisen tehtäviä, mutta vastuu ympäristön monitoroinnista ja dynaamisen vara-ajamisen suorittamisesta on kuljettajalla (Innamaa ym. 2015, SAE International 2018). Tasojen 1–2 mukaista automaatiota löytyy laajalti nykyisin käytössä olevista ajoneuvoista. Esimerkkeinä tason 1 kuljettajaa tukevasta automatiikasta ovat pysäköintiavustin, mukautuva vakionopeuden säädin sekä

kaistavahti. Tason 2 osittaista automaatiota edustavat muun muassa pysäköintiavustaja, joka automaattisesti pysäköi auton parkkiruutuun tai tienreunaan sekä ruuhka-avustin (Innamaa ym. 2015, SAE International 2018).

Tason 3 ehdollinen automaatio kattaa kaikki dynaamisen ajamisen tehtävät sekä vastaa ympäristön monitoroinnista (SAE International 2018, Innamaa ym. 2015). Dynaamisen vara-ajamisen suorittajana toimii edelleen ihmiskuljettaja (SAE International 2018, Innamaa ym. 2015). Tason 3 ehdollisen automaation konsepteja on esimerkiksi ”Maantiekuljettaja”, joka vastaa ajamisesta maantiellä sisään- ja ulostulorampille asti aina nopeuteen 130 km/h saakka (Innamaa ym. 2015). Kuljettajan on itse aktivoitava järjestelmä, muttei tarvitse jatkuvasti valvoa sen toimintaa. Tarpeen vaatiessa kuljettajan on kuitenkin otettava ajoneuvo itse hallintaansa (Innamaa ym. 2015, SAE International 2018).

Taulukko 1. Tieliikenteen automaation tasot SAE (2014 ja 2018) mukaan julkaisusta Innamaa ym. (2015). Käytetyt termit ja määritelmät ovat Innamaa ym. (2015) käyttämiä suomennoksia SAE:n englanninkielisistä termeistä.

| Taso | Nimi | Määritelmä | Ohjaus, kiihdyttäminen, jarrutus | Ympäristön monitorointi | Dynaamisen ajamisen varasuorittaja | ODD | Esimerkki-sovellus |
|--|-----------------------|--|----------------------------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------|--|
| Ihminen monitoroi ajoympäristöä | | | | | | | |
| 0 | Ei automaatiota | Ihminen suorittaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet, vaikka ajamista tuetaan varoituksilla tai ajamiseen puuttuvilla järjestelmillä. | Ihminen | Ihminen | Ihminen | - | Kaistanvaihtoavustin |
| 1 | Kuljettajan tuki | Ajotilannekohtaisia kuljettajan tukijärjestelmiä, jotka liittyvät joko ohjaamiseen tai kiihdyttämiseen/jarruttamiseen hyödyntämällä tietoa ajoympäristön tilasta. Ihminen vastaa kaikista muista dynaamiseen ajotehtävän osa-alueista. | Ihminen ja järjestelmä | Ihminen | Ihminen | Joitakin ajotilanteita | Mukautuva vakionopeudensäädin, kaistavahti |
| 2 | Osittainen automaatio | Yksi tai useampi ajotilannekohtainen kuljettajan tukijärjestelmä, joka kattaa sekä ohjaamisen että kiihdyttämisen/jarruttamisen hyödyntämällä tietoa ajoympäristön tilasta. Ihminen vastaa kaikista muista dynaamiseen ajotehtävän osa-alueista. | Järjestelmä | Ihminen | Ihminen | Joitakin ajotilanteita | Ruuhkaavustin |
| Järjestelmä monitoroi ajoympäristöä | | | | | | | |
| 3 | Ehdollinen automaatio | Ajotilannekohtainen automaattiajojärjestelmä kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet, kuten pituus- ja poikittaissuuntaisen kontrolloinnin. Ihmisen täytyy kuitenkin ottaa auto hallintaansa, kun järjestelmä näin pyytää. | Järjestelmä | Järjestelmä | Ihminen | Joitakin ajotilanteita | Ruuhkakuljettaja, maantiekuljettaja |
| 4 | Korkea automaatio | Ajotilannekohtainen automaattiajojärjestelmä kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet myös silloin, kun ihminen ei ota autoa hallintaansa, vaikka järjestelmä näin pyytää. Ellei kuljettaja ota ajoneuvoa haltuunsa, järjestelmä ohjaa auton hallitusti tien sivuun ja pysäyttää sen. | Järjestelmä | Järjestelmä | Järjestelmä | Suurin osa ajotilanteista | Maantiepilotti |
| 5 | Täysi automaatio | Kaiken kattava automaattiajojärjestelmä, joka kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet kaikissa tie- ja ympäristöolosuhteissa. | Järjestelmä | Järjestelmä | Järjestelmä | Kaikki ajotilanteet | Täysin autonominen ja automaattinen ajoneuvo |

Tasolla 4 vallitsee korkea automaation taso. Ajamisen automatiikka huolehtii kaikista dynaamisen ajamisen tehtävistä sekä dynaamisen vara-ajamisen suorittamisesta ongelmatilanteissa, mikäli kuljettaja ei ota ajoneuvoa hallintaansa (Innamaa ym. 2015). Monissa 4. tason automaatiojärjestelmissä kuljettaja on kuitenkin ensisijainen dynaamisen vara-ajamisen suorittaja (SAE International 2018, Innamaa ym. 2015). Automatiikan suorittamana dynaaminen vara-ajaminen johtaa aina minimaalisten riskien tilaan (*Minimal risk condition*), jolloin esimerkiksi ajoneuvo pysäytetään turvalliseen kohtaan tietä (SAE International 2018). Kuljettajan suorittaessa vara-ajamisen, voi ongelman vakavuudesta riippuen olla mahdollista jatkaa ajotehtävää manuaalisesti ohjaten (SAE International 2018). Korkean automaation tasolla 4 esimerkkinä on ”Maantiepilotti”, joka vastaa ajamisesta maanteillä 130 km/h nopeuteen asti (Innamaa ym. 2015). Kuljettajan täytyy aktivoida järjestelmä, muttei jatkuvasti tarkkailla sitä eli kuljettaja voi olla vain matkustajan roolissa (Taulukko 2). Normaaliolosuhteissa järjestelmä ei vaadi kuljettajaa ohjaamaan ajoneuvoa. Järjestelmä voi olla verkottunut, jolloin se voi muodostaa saattueita eli letkoja muiden ajoneuvojen kanssa (Innamaa ym. 2015, SAE International 2018).

Tasolla 5 vallitsee täysi automaatio, jossa kaiken kattava järjestelmä huolehtii ajotilanteesta täysin itsenäisesti ilman kuljettajan apua (Innamaa ym. 2015, SAE International 2018). Kuljettaja voi mahdollisesti myös olla ajoneuvossa, mikäli automaatio mahdollistaa ajoneuvon hallinnan myös manuaalisesti kuljettajan toimesta (SAE International 2018). Muutoin kuljettaja on vain matkustaja tai kuljettajaa ei tarvita ajoneuvossa (Taulukko 2).

Vaikka korkeilla automaation tasoilla tähdätään automaation kattavan lähes kaiken ajamisen (tasot 4 ja 5), voi automaatiojärjestelmä tukea myös ihmiskuljettajan toimintaa pääasiallisen kuljettajan roolissa (SAE International 2018). Täten korkea automaatioaste ei välttämättä poissulje ihmiskuljettajaa. Tämä mahdollisuus on järkevää ajatellen useimpien automaattisen ajamisen sovellusten rajallisuutta ODD:nsa ja käyttöympäristöjen vaihtelevuuden suhteen (SAE International 2018).

Taulukko 2. Automaatitason suhde kuljettajan rooliin ajamisessa ajamisen automaatiojärjestelmän ollessa toiminnassa. Muokattu ja käännetty lähteestä SAE International (2018).

| | Ei ajamisautomaatiota | Käytössä oleva ajamisen automaatiotaso | | | | |
|----------------------------|-----------------------|--|---|---------------------------|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Ajoneuvossa oleva käyttäjä | Kuljettaja | | | DDT-varasuoritaja | Matkustaja | |
| Etäkäyttäjä | Etäkuljettaja | | | DDT-varasuoritaja (etänä) | Miehittämättömien ajoneuvojen etähallitsija | |

Varsinaista kuljettajaa tarvitaan vain SAE-tasoilla 0–2 (Taulukko 2). Kaikilla automaation tasoilla on mahdollista käyttää myös ajoneuvon etäkäyttöä (*Etäkäyttäjä*) eli kuljettajan ei tarvitse välttämättä olla ajoneuvon ohjaamossa (Taulukko 2). Tähän tarkoitukseen voi olla pelkästään etäohjattavia ajoneuvoja tai ajoneuvoja, joita voidaan ohjata joko ajoneuvosta käsin tai etäohjatusti. Jälkimmäisessä kyse on kaksitoimisesta ajoneuvosta (*Dual-Mode Vehicle*) (SAE International 2018). Varsinainen manuaalinen etäohjaaminen (*Etäkuljettaja*) koskee vain tasoja 0–2.

Tasolla 3 varsinaista ohjaamista tai etäohjausta tarvitaan vain vara-ajamisessa (Taulukko 2) (SAE International 2018). Etäohjauksen tapauksessa kuljettajan roolit ovat pääosin samoja kuin ajoneuvossa istuvan kuljettajan vain sillä erotuksella, että tasoilla 4 ja 5 etäkuljettaja toimii miehittämättömien ajoneuvojen etähallitsijana (*Driverless operation dispatcher*), eikä matkustajana, kuten ajoneuvossa istuva kuljettaja (SAE International 2018). Etähallinta mahdollistaa tasolta 3 alkaen usean ajoneuvon samanaikaisen seurannan ja tarvittaessa myös ohjaamisen yhden henkilön toimesta (SAE International 2018).

2.4 Puutavaranoisturin automaation tasot

Nostureiden (ml. puutavaranoisturit) automaation tasojia ei ole yhtä selkeästi määritelty kuin tieliikenteen automaation kohdalla. Puutavaranoisturin automaation luokittelua varten jouduin hyödyntämään monia erilaisia lähteitä tasoluokittelun (Taulukko 3) muodostamiseksi. Pohjana käytin aiemmin esitettyä tieliikenteen SAE-Internationalin (2018) tasoluokittelua, jota muokkasinkin puutavaranoistureille soveltuvaksi käyttäen apuna

kirjallisuutta satamien (Cargotech 2019) ja kirurgian automatisoinnista (Manzey ym. 2009). Kirurgiassa käytetään laitteita, joilla on paljon yhteistä puutavaranoistureiden kanssa, kuten puomit, tarttumakourat ja hallintalaitteet. Täten arvioin kirurgian automaation osalta käytettävän luokituksen sopivan SAE-luokitteluun yhdistettäväksi. Kirurgian automaatio oli jaoteltu kuuteen tasoon hyvin samoin perustein kuin SAE-luokitus. Luokittelun oikeellisuuden tarkistin vielä puutavaranoisturivalmistajien haastattelujen yhteydessä ja he totesivat luokittelun toimivaksi. Tässä tutkimuksessa puutavaranoisturin automaatiotasosta mainittaessa viitataan tähän luokitukseen.

Tasolla 0 ihminen suorittaa kaikki nosturin liikkeiden ohjaukset sekä ympäristön valvonnan. Taso 1 sisältää kuljettajaa tukevia toimintoja, jolloin kuormaimen käsittelyn hallinnasta osa hoidetaan automaattisesti. Esimerkkinä tasolta 1 on kärkiohjaus, jossa puutavaranoisturin puomia ohjataan yksittäisten sylinterien sijaan kärkikeskeisesti. Operoija ohjaa hallintalaitteilla kärkeä haluamaansa suuntaan ja automaatiojärjestelmä säätelee kullekin hydraulisylinterille hydraulinestevirtaa automaattisesti. Täten muun muassa puomien jatkosten liike on automatisoitu.

Tasolla 2 on osittais syklien automaatiota, jolloin automaatio suorittaa tietyn toiminnon, kuten taakan noston kuormatilaan, mutta ihminen valvoo ja asettelee taakan oikeaan kohtaan kuormatilaa.

Tasolla 3 vallitsee ehdollinen automaatio, jolloin automaatiojärjestelmä hoitaa itsenäisesti nosturin liikkeet sekä ympäristön monitoroinnin. Ihminen puuttuu toimintaan vain tarvittaessa ja järjestelmän normaalin toiminnan aikana ihminen voi tehdä muuta työtä.

Tasolla 4 automaatiojärjestelmä suorittaa itsenäisesti nosturin liikkeet sekä työn monitoroinnin. Häiriötilanteessa nosturi osaa pysäyttää toimintansa itsenäisesti, mikäli ihminen ei puutu toimintaan. Häiriötilanteen jälkeen automaatiikka häiriön vakavuudesta riippuen voi jatkaa kuormaustoimintoja. Ihminen voi kuitenkin halutessaan jatkaa kuormausta manuaalisesti. Tason 4 automaatiojärjestelmä on kuitenkin ODD:nsa suhteen rajoittunut, eli ei toimi kaikissa käyttöympäristöissä. Taso 5 on käytännössä taso 4 ilman ODD-rajoituksia.

Puutavaranoisturin automaation ODD:n voidaan olettaa olevan samalla tavalla määritelty kuin tieliikenteen automaation tapauksessa, eli tasot 1–4 ovat ODD:n suhteen rajoittuneita (ks. Kappale 2.2).

Taulukko 3. Puutavaranoisturien automaation tasoluokittelu. Luokittelun laatimisessa on hyödynnetty lähteitä Innamaa ym. (2015), SAE (2018), Manzey ym. (2009), Stanley Robotics (2019) ja Cargotech (2019).

| Taso | Nimi | Määritelmä | Kuormaimen hallinta | Ympäristön monitorointi | Toimintojen varasuorittaja | Automaation kattavuus | Esimerkki-sovellus |
|--|-----------------------|--|------------------------|-------------------------|----------------------------|--|--|
| Ihminen monitoroi ajoympäristöä | | | | | | | |
| 0 | Ei automaatiota | Ihminen suorittaa kaikki kuormaimen käsittelyn osa-alueet, vaikka kuormaimen operointia tuetaan varoituksilla tai hallintaan puuttuvilla järjestelmillä. | Ihminen | Ihminen | Ihminen | - | Mekaanishydraulinen tai sähköohjattu puutavaranoisturi |
| 1 | Kuljettajan tuki | Kuormaustilannekohtaisia kuljettajan tukijärjestelmiä, jotka mahdollistavat yksittäisten toimintojen suorittamisen automaattisesti hyödyntämällä tietoa käyttöympäristön tilasta. Ihminen vastaa kaikista muista dynaamisen kuormaustehtävän osa-alueista. | Ihminen ja järjestelmä | Ihminen | Ihminen | Suurin osa liikkeistä tehdään joystickeillä. Automaatio hoitaa yksittäisiä liikkeitä. | Kärkiohjaus |
| 2 | Osittainen automaatio | Kuormaustilannekohtainen automaatiojärjestelmä kattaa ohjaamisen, kuten pituus- ja poikittaissuuntaisen kontrolloinnin hyödyntämällä tietoa kuormaustilanteiden tilasta. Ihminen vastaa kaikista muista kuormauksen osa-alueista, kuten kuormaustyön aikaisesta monitoroinnista. | Järjestelmä | Ihminen | Ihminen | Automaatio hoitaa kaikki liikkeet. Ihminen tarkkailee toimintoja sekä ympäristöä. | Automaattinen taakan nosto kuormatilaan |
| Järjestelmä monitoroi ajoympäristöä | | | | | | | |
| 3 | Ehdollinen automaatio | Kuormaustilannekohtainen automaatiojärjestelmä kattaa kaikki kuormauksen osa-alueet, kuten pituus- ja poikittaissuuntaisen kontrolloinnin sekä toimintaympäristön monitoroinnin. Ihminen täytyy kuitenkin ottaa kuorman hallintaansa, kun järjestelmä näin pyytää. | Järjestelmä | Järjestelmä | Ihminen | Kuorman suorittaa liikkeet ja monitoroinnin itsenäisesti. Ihminen puuttuu toimintoihin tarvittaessa. | |
| 4 | Korkea automaatio | Kuormaustilannekohtainen automaatiojärjestelmä kattaa kaikki kuormauksen osa-alueet myös ongelmatilanteissa silloin, kun ihminen ei ota työkonetta hallintaansa, vaikka järjestelmä näin pyytää. Ellei kuljettaja ota laitetta hallintaansa, järjestelmä pysäyttää laitteen. | Järjestelmä | Järjestelmä | Järjestelmä | Kuorman suorittaa liikkeet ja monitoroinnin itsenäisesti. Ongelmatilanteissa automaatiojärjestelmä osaa itsenäisesti pysäyttää toiminnot. Ihminen voi suorittaa varaohjauksen. | |
| 5 | Täysi automaatio | Kaiken kattava automaatiojärjestelmä, joka kattaa kaikki kuormauksen osa-alueet kaikissa tie- ja ympäristöolosuhteissa. | Järjestelmä | Järjestelmä | Järjestelmä | Kaikki kuormaustilanteet | |

3 SUOMEN TIEVERKKO JA AUTOMAATION VAATIMUKSET TIEVERKON OSALTA

3.1 Suomen tieverkko

3.1.1 Tieverkon jaottelu ja vastuut

Suomen tieliikenne eroaa varsin paljon muun muassa olosuhteiltaan ja liikennemääriltään esimerkiksi Keski-Euroopan tieliikenteestä. Merkittävänä erityispiirteenä jopa pohjoismaisessa mittakaavassa on suuri metsä- ja yksityisteiden osuus tieverkosta, noin 77 % tieverkon kokonaispituudesta. Suomen tieverkon kokonaispituus on noin 454 000 km. Tieverkko koostuu maanteistä (78 000 km, 17 %), kunnallisesta katuverkosta (26 000 km, 6 %) ja yksityis- ja metsäautoteistä (350 000 km, 77 %) (Taulukko 4). (Väylävirasto 2019 a)

Taulukko 4. Suomen tieverkko, sen jaottelu, omistussuhteet ja ylläpitovastuut (Metsäteho 2016, Väylävirasto 2019 a ja Liikennevirasto 2018 a).

| | Yleiset tiet | | | | | Yksityistiet |
|-------------------|-------------------------------|-----------|------------------|-----------|--------|---|
| | Maantiet | | | | Kadut | |
| | Päätiet | | Alempi tieverkko | | | |
| | Valtatiet | Kantatiet | Seututiet | Yhdystiet | | |
| Pituus (km) | 8605 | 4860 | 13473 | 51054 | 26000 | 350000 |
| Omistus | Valtio | | | | Kunnat | Yksityishenkilöt, yritykset tai muut toimijat |
| Vastuuylläpidosta | Väylävirasto ja ELY-keskukset | | | | Kunnat | Omistaja tai tiekunta |

Valtion tieverkon ylläpidosta ja kehittämisestä vastaa Väylävirasto (ent. Liikennevirasto) yhdessä alueellisten Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskusten (ELY-keskus) kanssa. ELY-keskusten vastuualueeseen kuuluu teiden alueellinen kunnossapito (Taulukko 4) (Elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskus 2019).

3.1.2 Maantiet

Laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä (23.6.2005/503) määrittelee maantien seuraavasti: ”Maantie on valtion omistama tai tieoikeudella hallinnoima tie, joka on luovutettu yleiseen liikenteeseen ja on Väyläviraston hallinnassa. Liikenteellisen merkityksensä mukaan maantiet ovat valtateitä, kantateitä, seututeitä tai yhdysteitä (Taulukko 4). Valtatiet palvelevat valtakunnallista ja maakuntien välistä pitkämatkaista liikennettä. Kantatiet täydentävät valtatieverkkoa ja palvelevat maakuntien liikennettä. Seututiet palvelevat seutukuntien liikennettä ja liittävät näitä valta- ja kantateihin. Muut maantiet ovat yhdysteitä. Lain mukaan maantie voi olla moottori- tai moottoriliikennetie tai muu vain tietynlaisista liikennettä varten tarkoitettu tie.”

Valta- ja kantateitä eli pääteitä on yli 13 000 kilometriä (Taulukko 4). Moottoriteitä tästä on noin 900 kilometriä (Väylävirasto 2019 a). Pääteistä suurin osa kuuluu seutu- ja yhdysteihin, joita on yhteensä noin 64 900 kilometriä. Päällystettyjä teitä on noin 50 000 kilometriä eli noin 65 % tieverkon pituudesta (Väylävirasto 2019 a). Yli puolet maantieverkosta (41 000 km) kuuluu alimpaan hoitoluokkaan (Väylävirasto 2019 a).

3.1.3 Metsä- ja yksityistiet

Yksityistielaki (13.7.2018/560) määrittelee metsä- ja yksityistiet seuraavasti: ”Yksityistiellä tarkoitetaan sellaista ensisijaisesti yksityistä liikennetarvetta palvelevaa tieliikenteen väylää, johon rasiitteena kohdistuu vähintään yhden kiinteistön hyväksi tieoikeus (oikeus käyttää toisen kiinteistön aluetta pysyvästi kulkuyhteyttä varten). Metsätiellä tarkoitetaan tietä, joka on tarkoitettu pääasiassa metsätalouden edellyttämiä kuljetuksia varten. Yksityistielaki turvaa asutuksen, elinkeinoelämän ja muiden yhteiskunnallisten tarpeiden edellyttämät kulkuyhteydet kiinteistöille, jotka eivät sijaitse maantie- tai katuverkolla.”

Metsä- ja yksityisteitä on yhteensä 350 000 km (Taulukko 4) eli noin 77 % tieverkon kokonaispituudesta (Väylävirasto 2019 a), joista metsäteitä on noin 130 000 km (Tieyhdistys 2019). Metsäteollisuuden puuhuollon kannalta metsätieverkosto on elintärkeä osa tieverkkoa ja koko teollisen toiminnan edellytys (Metsäteho 2001). Metsäteiden ansiosta puunkorjuun ja -kuljetuksen kustannustaso pysyy kilpailukykyisenä ja puuraaka-aine on

saatavilla helposti ja ympärivuotisesti (Metsäteho 2001). Erityisesti kelirikkokestävät metsäautotiet toimivat puuhuollon kausivaihtelun tasaajina (Metsäteho 2001). Metsäteiden puunkorjuulle ja -kuljetukselle tarjoamia hyötyjä ovat Metsätehon (2001) mukaan:

- Metsäkuljetusmatkojen lyhentämisestä syntyy säästöjä ja korjuutyön tuottavuus parantuu.
- Puuraaka-aineen laatu säilyy paremmin tuoreena ja hyvälaatuisena jatkojalostukseen.
- Kaukokuljetuskustannukset autokuljetuksen osalta pienenevät, mikäli metsäteiden ansiosta kuljetusmatka lyhenee.
- Metsätiet ovat tärkeitä myös metsäpalojen torjunnassa ja pelastustoiminnassa.

Metsä- ja yksityistiet kärsivät laajasti kelirikko-ongelmista, jotka huonontavat merkittävästi tiestön kantavuutta ja täten rajoittavat liikennöintiä (Korpilahti ja Thesslund 2008). Korpilahden ja Thesslundin (2008) mukaan metsäteiden kunto heikkenee nopeasti, sillä perusparannusta vaativia metsäteitä on noin 4 000–5 000 km/v ja tämänhetkinen perusparannustahti on noin 2 500 km/v. Pääosa metsäteistä on rakennettu yli 20 vuotta sitten, jolloin niiden suunnittelussa otettiin huomioon sillä hetkellä vallinneet puutavara-autojen kokonaismassat. Puutavara-autojen kokonaismassojen kasvun suuruudesta kertoo se, että vuonna 1961 maksimikokonaismassa oli 30 tonnia, vuonna 1982 maksimimassa nousi 48 tonniin ja vuonna 1993 60 tonniin (Korpilahti ja Thesslund 2008, Metsäteho 2016). Viimeisin merkittävä muutos puutavara-autojen kokonaismassojen nostossa tapahtui vuonna 2013 sallittujen kokonaismassojen noustessa 76 tonniin (Asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä 4.12.1992/1257).

3.1.4 Katuverkko

Maankäyttö- ja rakennuslaki (5.2.1999/132) määrittelee katualueen seuraavasti: ”Katualue käsittää asemakaavassa osoitetun katualueen maanalaisine ja maanpäällisine sekä yläpuolisine johtoineen, laitteineen ja rakenteineen, jollei asemakaavassa ole toisin osoitettu. Kadunpito, joka käsittää kadun suunnittelun, rakentamisen, kunnossa- ja puhtaanapidon sekä muut toimenpiteet, kuuluu kunnan vastuulle.” Katuja on Suomessa noin 26 000 km (Taulukko 4).

3.2 Suomen tieverkon olosuhteet ja erityispiirteet

Tieverkon toimivuuteen ja kunnossapitoon vaikuttavia ilmastotekijöitä ovat lämpötila, sade ja tuuli (Saarelainen ja Makkonen 2007). Lumen sadanta Suomessa on maltillista ja poikkeavia rajuja lumisateita esiintyy vain korkeintaan muutaman kerran talven aikana, minkä vuoksi lumisateesta johtuvia liikennehäiriöitä ilmenee vain harvoin (Nyberg 2010). Saarelaisen ja Makkosen (2007) mukaan tieliikenneonnettomuuden todennäköisyys kasvaa merkittävästi tienpinnan liukkauden ilmetessä samaan aikaan huonon näkyvyyden kanssa. Huonoa näkyvyyttä tieliikenneolosuhteissa syntyy sumun sekä vesi- ja lumisateen seurauksena. Liukkaustilanteen paikallinen esiintyvyys on hankalasti ennustettavissa ja ennakoitavissa, sillä se kehittyy sään muutosten myötä ja vaihtelee paikallisesti (Saarelainen ja Makkonen 2007).

Saarelaisen ja Makkosen (2007) mukaan haastavimmat keliolosuhteet tieliikenteen kannalta ovat todella rankka lumisade sekä yllättävä liukkaus. Lumisade kerryttää tienpinnalle lunta, joka on aurattava pois tieliikenteen sujuvuuden ja turvallisuuden takaamiseksi. Erittäin rankka lumisade heikentää myös näkyvyyttä. Nybergin (2010) mukaan tieliikenteen kannalta haastavia talviolosuhteita (Taulukko 5) ovat kovan pakkasen lauhduminen, alijäähtynyt vesisade ja nollan tuntumassa tapahtuva lämpötilan vaihtelu. Keväisin sulava routa aiheuttaa painumia sekä tien runko- ja pintavaurioita (Nyberg 2010).

Edellä luetellut tieliikenteelle hankalimmat talviolosuhteet ovat yleistyksiä ja olosuhteen todellinen haastavuus muodostuu yleensä monen eri tekijän yhteisvaikutuksesta. Kuten Saarelainen ja Makkonen (2007) totesivat, tienpinnan liukkauden esiintyessä samanaikaisesti huonontuneen näkyvyyden kanssa, on onnettomuusriski suuri. Ongelmia syntyy vaikutusalueen ollessa laaja, haastavien keliolosuhteiden ollessa pitkäaikaisia ja kohdistuessa vilkkaasti liikennöidylle tieosuudelle (Nyberg 2010).

Ilmastonmuutos todennäköisesti lisää tieliikenteen alttiutta tuulille, tienpinnan jäätymiselle, sateelle sekä tulvimiselle (Liikennevirasto 2018 b). Äärevät sääolosuhteet lisäävät onnettomuusriskiä olosuhteiden vaihdellessa suuresti tieosuuksilla (Saarelainen ja

Makkonen 2007). Uusissa teiden talvihoidon toimintalinjoissa on otettu entistä paremmin huomioon ilmastomuutoksen vaikutus teiden talvihoitoon (Liikennevirasto 2018 b).

Suomen tieliikenteen ja tieverkon piirteitä ovat Innamaan ym. (2015) mukaan:

- pitkät etäisyydet
- vähäiset liikennemäärät suurimpien kaupunkiseutujen ulkopuolella
- tasoliittymät ja -risteykset
- paljon alhaisen toiminnallisen luokan teitä, kuten yksityis- ja metsäteitä, joilla on muun muassa puutteelliset tiemerkinnot
- talvisin luminen tieympäristö, jossa tiemerkinnot ovat peittyneet, lumisade, pölyävä lumi, jäiset ja liukkaat tiet
- keväisin routavauriot
- hirvieläinten aiheuttamat vaaratilanteet ja onnettomuudet
- erilliset renkaat kesä- ja talviolosuhteisiin.

Edellä mainitut Suomen tieverkon ominaispiirteet asettavat huomattavia rajoituksia sekä vaatimuksia raakapuun autokuljetusketjun automaatiolle, etenkin sensoriteknologian toimivuudelle haastavissa olosuhteissa.

Suomen tieverkko ja koko liikennejärjestelmä on rakennettu talvikestäväksi. Talvikestävyydellä tarkoitetaan tieliikenteen tapauksessa tieliikenteen toimintavarmuutta erilaisissa talviolosuhteissa eli tieliikenteen täsmällisyyttä, luotettavuutta, turvallisuutta sekä toimivuutta (Nyberg 2010). Talvikestävyys ylläpito vaatii valtiolta huomattavaa rahallista panostusta, joka kohdistuu liikennejärjestelmän ylläpitoon, kehittämiseen sekä liikennepalveluiden määrään ja laatuun (Nyberg 2010). Suomessa koko maantieverkko sekä kevyen liikenteen väylät pyritään pitämään kulkukelpoisina ympärivuotisesti kaikkina vuorokauden aikoina (Nyberg 2010).

Nybergin (2010) mukaan talvikunnossapidon suunnittelussa ja toteutuksessa toimitaan hyötynäkökulmasta eli ensisijaisesti varmistetaan vilkkaimman tieverkon kulkukelpoisuus. Tällöin kyseisellä tieverkolla talvikunnossapidon toimenpideajat ja laatuvaatimukset ovat tiukemmat kuin harvaan liikennöidyillä tieosuuksilla. Talviliikenteen ja

kunnossapidon operatiivinen palvelutaso määrittyy liikennemäärän, liikenteen koostumuksen ja luonteen, tien toiminnallisen luokan, ilmastovyöhykkeen ja asiakastarpeiden perusteella.

Uusimmassa teiden talvihoidon linjauksessa raskaan liikenteen ja yhdistelmäajoneuvojen määrä on otettu uutena kriteerinä mukaan talvihoitoluokkien (Ise, Is, Ib, Ic, II, III) määrittämisessä, jolloin hoitoluokkia korotetaan erityisesti sellaisilla tienkohdilla, joilla raskaasta liikennettä esiintyy paljon (Liikennevirasto 2018 b). Tällä pyritään vähentämään raskaan liikenteen aiheuttamia vakavia onnettomuuksia talviaikaan. Myös raakapuukuljetukset on pyritty huomioimaan teiden täsmähoidolla, jota kohdennetaan tieosuudelle, jossa esimerkiksi on ajoittain liikennemäärällisesti tai ajoneuvojakaumaltaan poikkeuksellista liikennettä (Liikennevirasto 2018 b). Tarvetta täsmähoidolle lisäävät muun muassa teollisuuden kausiluonteiset kuljetukset. Uusissa talvihoidon linjauksissa on täsmennetty hoidettavien tiealueiden lisäksi asiakastarpeiden mukaisen järjestelyvaran varaaminen palveluhiekoituksille yksittäisten hakkuiden raakapuukuljetusten turvaamiseksi (Liikennevirasto 2018 b). Raskaalle liikenteelle ensiarvoista on tieverkon liukkauden torjunta oikealla ajoituksella.

Talvikestävyyskeskeisin osa on talviolosuhteisiin varautuminen, joka käsittää talvikunnossapidon kaluston saatavuuden varmistamisen, kunnossapitosuunnitelmien tarkennukset sekä esimerkiksi talvirenkaiden asennuksen (Nyberg 2010, Liikennevirasto 2018 b). Tärkeää on myös varautua talviolosuhteissa ajamiseen henkisesti.

Taulukko 5. Talviolosuhteiden vaikutus liikennemuotoihin (Nyberg 2010).

| Talviolosuhte/ liikennemuoto | Tie- liikenne | Raide- liikenne | Meri- liikenne | Lento- liikenne |
|-------------------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Kova pakkanen | | | | |
| Kovan pakkasen lauhtuminen | | | | |
| Pitkäkestoinen pakkanen | | | | |
| Lumisade | | | | |
| Suuri lumikertymä | | | | |
| Tuuli | | | | |
| Alijäähtyneen veden sade | | | | |
| Leuto, sateinen talvi | | | | |
| Lämpötilavaihtelu nollan tienoilla | | | | |
| | | | | |
| haastava | kohtalaisen haastava | | neutraali | |

3.3 Automaattisen ajamisen edellytykset tieverkon osalta

Automaattiseen ajamiseen soveltuvan tieinfrastruktuurin tulee olla korkealla tasolla, minkä vuoksi automatisoidulle liikenteelle soveltuvia teitä tulee olemaan alussa varsin rajoitetusti (Innamaa ym. 2015). Muun muassa tien päällysteen tulee olla hyvässä kunnossa automaattiselle ajamiselle, eli kuoppia ja uria ei saa olla suuressa määrin (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020). Toiseksi kaista- ja tiemerkintöjen laatu sekä teiden digitaalinen infrastruktuuri täytyvät olla korkealla tasolla. Tämän takia automaattiajamisen käyttöönoton alkuvaiheessa vain valitut tieosuudet varustetaan tarvittavalla infrastruktuurilla (Innamaa ym. 2015, Kulmala ym. 2019). Lumiahon ja Malinin (2016) mukaan infrastruktuurilta vaadittava taso ja ominaisuudet riippuvat paljolti liikennevälineiden automaattiotasosta, tieympäristöstä sekä muista tienkäyttäjistä. Mitä heterogeenisempi tienkäyttäjajoukko ja tieympäristö ovat, sitä enemmän vaatimuksia kohdistuu tieinfrastruktuurille ja automaattiajamisen laitteille ja järjestelmille (Lumiaho ja Malin 2016).

Ympäristön havainnoinnin ollessa rajoittunut ajoneuvojen sensorien havaintokykyyn ja -etäisyyteen, aiheuttavat erilaiset tieosuudet haasteita automaattiselle ajamiselle (ERT-RAC 2019 b). Jotta infrastruktuurin kyky tukea automaattista ajamista voidaan määritellä, on luotu luokittelu tieinfrastruktuurin soveltuvuudelle automaattiseen ajamiseen. Luokitus myös antaa valmiutta automaattisen tieliikenteen suunnittelulle (ERTRAC 2019 b). Fyysisen ja digitaalisen tieinfrastruktuurin soveltuvuutta automaattiselle liikenteelle voidaan hahmottaa ISAD-luokituksen (*Infrastructure Support levels for Automated Driving*) avulla (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020, ERTRAC 2019 b). ISAD-luokitus on ikään kuin tieviranomaisten vastine ODD-luokitukselle (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020). Luokituksessa voisi Liikenne- ja viestintäministeriön (2020) mukaan Suomessa käyttää viittä tasoa (tasot A–E), jotka kuvaisivat fyysisen ja digitaalisen tieinfrastruktuurin soveltuvuutta automaattiselle ajamiselle. Alimmalle tasolle sijoittuisi tavallinen tieverkko ilman digitaalista täydentävää informaatiota (Taso E) (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020). Ylimmällä tasolla tieverkko yhdessä digitaalisen informaation avulla ohjaa automaattista liikennettä liikennevirtojen optimoimiseksi (Taso A) (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020). Tällä hetkellä yhtenä suurena kysymyksenä on, pitääkö automaattisen ajamisen soveltua kaikille tieosuuksille, vai vain tietyille ennalta määritellyille tieosuuksille (Kulmala ym. 2019).

3.4 Liikenteeseen käytettävien alueiden luokittelu automaation kannalta

Automaation soveltuvuuden ja käyttöönoton aikataulun kannalta liikenteeseen käytettävien alueiden luokittelu on tärkeää. Luokittelu liittyy myös automaation soveltuvuuden ja kattavuuden (ODD) määrittelyyn (ERTRAC 2019 b). Tässä työssä on käytetty liikenteeseen käytettävien alueiden luokitusta, joka on yhdistelmä julkaisuista ERTRAC (2017) ja ERTRAC (2019 a).

- ***Suljetut alueet (Confined areas)***: Alueet, joilla liikennöinti on rajoitettua ja tarkoin ohjattua. Liikenteen automatisoinnin kannalta kyseessä on yksinkertainen ympäristö. Yleensä kyseessä ovat yksityisalueet, kuten terminaalit ja satama-alueet.
- ***Erotettu tie/kaista (Dedicated road/lane, Hub-To-Hub)***: Tie tai ajokaista, jolla on sallittu tietyn tai tiettyjen automaatiotasojen ajoneuvojen liikennöinti ja joka on kielletty muulta liikenteeltä. Tiealue koostuu osittain avoimesta tiestä ja osittain ohjatusta liikenteestä. Erotettu tie/kaista palvelee tehtaiden ja satamien tai terminaalien välistä liikennettä. Automatisoinnin kannalta kyseessä on varsin yksinkertainen liikenneympäristö, jossa ajamisesta suuri osa on toistuvien toimintojen suorittamista.
- ***Avoin tie (Open road)***: Paikalliseen, alueelliseen tai pitkänmatkan liikenteeseen tarkoitettu yksi- tai useampikaistainen tiealue, jolla liikennöi suuri kirjo eri automaation tasojen edustavia ajoneuvoja. Avoin tie on esimerkiksi valtatie tai muu julkinen tiealue, jolla ei ole ohjattua liikennettä. Automatisoinnin kannalta avoin tie on haastava ja monimutkainen tieympäristö, jossa ajonaikaiset tehtävät ovat tilanne- ja olosuhdesidonnaisia sekä vaihtelevat paljon (vrt. *Erotettu tie/kaista*).
- ***Kaupunkiympäristö (Urban Environment)***: Kaupunkialueelle sijoittuva tiealue, pääasiassa julkisia teitä, joilla liikenteen kontrollointia ei pääasiassa ole. Kyseisessä ympäristössä ajonaikaiset tehtävät on sopeutettava jatkuvasti muuttuviin tilanteisiin.

On tärkeää tiedostaa tiettyjen suljettujen alueiden ja harvaan liikennöityjen teiden olevan helpommin automatisoitavissa kuin esimerkiksi avoimet ja vilkkaasti liikennöidyt tiet (ERTRAC 2017, 2019 b). Jo tällä hetkellä terminaalet ja satamia on pystytty joko osin tai lähes kokonaan automatisoimaan, mutta tieliikenteen osalta automatisointi on vasta alkuvaiheessa.

Teollisuuden ainespuun autokuljetusketjua tarkasteltaessa kuljetusten sijoittuminen tiestölle luokitellaan tässä tutkimuksessa yllä olevan luokituksen mukaisesti. Suljettuja alueita edustavat metsäsektorin tuotantolaitosten vastaanottotermiinaalit sekä raakapuun välitermiinaalit. Luonnonvarakeskuksen (2019 a) mukaan puutermiinaalit ovat rakennettuja, puutavaran varastointiin ja käsittelyyn tarkoitettuja termiinaalialueita, jotka toimivat usein puskurivarastoina puunhankinnan ja -toimitusten kausivaihteluiden tasaamiseksi. Termiinaalit sijaitsevat puutavaran kulkureittien läheisyydessä siten, että sijainnin valinnassa on otettu huomioon puunhankinta-alueen puuvirrat ja puutavaran käyttöpaikat. Tilantarpeeseen vaikuttavat muun muassa hankinta-alueen koko, puutavaran käyttövolyymit, puutavaralajien tilantarve (m^3/m^2), puunkäyttäjien tarpeet ja puutermiinaalialueen toiminnot. Termiinaalien sijoittelulla on merkitystä, sillä termiinaalien täytyy olla liikennöitävissä kaikkina vuodenaikoina, myös kelirikkoaikana. Puutermiinaalin etäisyys päätieverkkoon eli valta- ja kantateihin tulee olla mahdollisimman lyhyt.

Erotettu tie/kaista ei ole nykyisellään käytössä Suomessa raakapuukuljetuksissa, eikä myöskään muissa kuljetuksissa. Termillä viitataan esimerkiksi letkassa ajaville tai muille automaattisille ajoneuvoille varattuun erilliseen kaistaan maanteillä, joita ei tällä hetkellä ole vielä käytössä ainakaan Suomessa. Kulmala ym. (2019) kuitenkin näkivät yöaikoina teoriassa mahdollisina moottoriteiden VT 1 (E18), 3 (E12), 4 (E75) ja 7 (E18) ulommaisena kaistan käyttämistä automaattiselle rahtiliikenteelle. Kyseistä tiealuetyyppiä ei juuri käsitellä tässä tutkimuksessa.

Avoin tie (*Open road*) voi olla ainespuukuljetuksien kannalta lähes tulkoon mikä tahansa tie aina metsätiestä maanteihin. On kuitenkin todettava todella kaukana pysyvästä asutuksesta sijaitsevien metsäteiden muistuttavan myös suljettuja ympäristöjä. Vähäisen tai lähes olemattoman liikenteen vuoksi tällaisilla metsäteillä liikenteestä johtuvia muuttujia ei ole paljon. Tämän takia on pohdittu, että metsä- ja yksityistieteliikenne olisi mahdollisesti varsin helposti automatisoitavissa, mikäli tilannetta ajatellaan vain liikennevirran kannalta (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020). Huono kunto, teiden kapeus, mutkaisuus, liukkaus, kaista- ja reunamerkintöjen puute, puuston aiheuttamat katveet signaaleille sekä muut metsäteille ominaiset piirteet aiheuttavat kuitenkin suuria ongelmia puutavaraliikenteen automatisoinnille.

Kaupunkiympäristöt eritoten ERTRAC (2017, 2019 a) määritelmän mukaisesti ovat pienemmässä roolissa ainespuun autokuljetusten kannalta, tosin puutavara-autot liikkuvat myös taajama-alueilla ja osa merkittävistä metsäsektorin tuotantolaitoksista sijaitsee varsin lähellä kaupunkialueita. Lähimpänä kaupunkiympäristöä ainespuukuljetuksissa edustavat taajama-alueiden pääväylät, jotka ohjaavat liikennettä sisään ja ulos taajama-alueelta.

4 TIELIIKENTEEN AUTOMAATION NYKYTILA JA KEHITYSNÄKYMÄT

4.1 Tieliikenteen automaation nykytila

Nykyisin pääosa liikenteen automaatiosta käsittää ajoneuvossa olevat tekniikkaratkaisut ja sähköiset älykkäät järjestelmät (Lumiaho ja Malin 2016). Käytössä olevien ajoneuvojen automaation nykytila käsittää siis ajoneuvokohtaisen automaation, joka mahdollistaa esimerkiksi kuljettajaa avustavat toimet (Taulukko 1, SAE-taso 1). Tällainen ajoneuvo ei kuitenkaan suorita tiedonsiirtoa ympäristön eikä muiden ajoneuvojen kanssa. Vasta tiedonvaihtoon kykenevä verkottunut automatisoitu ajoneuvo toimii älykkäässä tieympäristössä riittävän hyvin (Lumiaho ja Malin 2016). Verkottunut ajoneuvo on langattomassa tietoliikenneyhteydessä ympäröivään tieinfrastruktuuriin sekä muihin ajoneuvoihin ja laitteisiin (Innamaa ym. 2015).

Nykyisen tieliikennelainsäädännön mukaan ajoneuvon kuljettaja on aina vastuussa ajoneuvosta. Tieliikennettä koskevan yleissopimuksen (30/1986) mukaan liikkuvalla ajoneuvolla tai ajoneuvoyhdistelmällä tulee olla kuljettaja ja hänen on joka hetki pystyttävä hallitsemaan ajoneuvoansa. Vaikka lainsäädäntö nykyisellään estää täysin autonomisten ajoneuvojen käytön tieliikenteessä, mahdollistaa se kuitenkin korkean automaatiotason ajoneuvojen liikennöinnin, kunhan kuljettaja tai vastaava henkilö pystyy hallitsemaan ajoneuvoa kaikissa tilanteissa ja tarpeen vaatiessa pysäyttämään ajoneuvon viivytyksettä.

Lainsäädännössä ei mainita, että kuljettajan täytyisi olla fyysisesti ajoneuvossa, mikä mahdollistaa ajoneuvojen etäohjauksen ja -hallinnan (Arola ja Antikainen 2017, Kulmala ym. 2019). Ylin vastuu automaattisesta ajamisesta pysyy kuljettajalla niin kauan kuin ajoneuvolle on osoitettu kuljettaja, joko toimivaksi ajoneuvossa tai etänä (Kulmala ym. 2019). Liikenne- ja viestintäministeriö yhdessä muiden tahojen kanssa valmistelee parhaillaan automaattisen ajamisen lainsäädännön suuntaviivoja sekä toimenpidesuunnitelmia, viimeisimpänä julkaisunaan ”Arviomuistio liikenteen automaation lainsäädäntö- ja toimenpidesuunnitelman valmistelu” (ks. Liikenne- ja viestintäministeriö 2020).

Nykyteknologialla automaattiajamisen suurin haaste on ympäristön havainnoiminen (Lumiaho ja Malin 2016). Teknologisena esteenä tieliikenteen automatisoinnille on ollut anturiteknologian riittämättömyys havaita muuttuvaa ympäristöä riittävän tarkasti (Ventä ym. 2016). Automaattisen ajoneuvon tulisi pystyä myös käsittelemään tietoa ympäristöstään vähintään samassa ajassa kuin ihminen (Lumiaho ja Malin 2016).

Tähän mennessä ei ole saatu kehitettyä anturiteknologiaa, joka toimisi kaikenlaisissa sääolosuhteissa (Lumiaho ja Malin 2016), sillä esimerkiksi lumi, loska ja kura haittaavat, jopa estävät anturien toimintaa (Ventä ym. 2016). Esimerkiksi mukautuva vakionopeudensäädin ja kaistavahti eivät välttämättä toimi kunnolla etenkin talviolosuhteissa lumen ja kuran peittäessä sensorit (Salonen 2019). Salosen (2019) mukaan olosuhteiden aiheuttamat automatiikan häiriöt sekä väärät hälytykset ovat ammattikuljettajia ärsyttäviä tekijöitä. Sensoreiden peittyminen lumella ja kuralla sekä sensorien reagoiminen tien uriin ja kuoppiin aiheuttavat vääriä hälytyksiä, jotka häiritsevät ajotilannetta.

Teiden liukkaus on Innamaan ym. (2015) mukaan automaattisille ajoneuvoille ongelma, sillä tienpinnan reaaliaikainen liukkauden mittaaminen on haasteellista. Suomen talviolosuhteissa tienpinnan kitka voi olla lähellä nollaa. Teiden talvikunnossapitovaatimukset ja -kustannukset kasvavat, mikäli tiealueita pidetään laajalti automaattiajamisen vaatimalla tasolla myös talviaikana (Innama ym. 2015).

4.2 Raskaan tieliikenteen automaation nykytila

Kuorma- ja yhdistelmäautokalusto jakautuu erilaisiin ajoneuvotyyppihin ajoneuvon koon, korirakenteen, työssä käytettävien varusteiden ja liikennetyypin mukaan (Kyytinen ym. 2017). Raskaan liikenteen automaation kehitystyön pääpainopiste on tällä hetkellä tavarakuljetusten runkoliikenteessä käytettävien ajoneuvojen automatisoimisessa (Kyytinen ym. 2017). Monet uudenaikaiset kuorma-autot on varustettu ainakin kuljettajan tukijärjestelmillä sekä ajoneuvon seurantaan ja ajotapaan liittyvillä automaatiosovelluksilla (Kyytinen ym. 2017). Nykyisin ammattiliikenteessä käytössä olevien kuorma-autojen osalta ajoneuvojen automaatiotasot vaihtelevat tasojen 0 ja 1 välillä. Yleensä kaluston vanhemmat ajoneuvot edustavat tasoa 0 ja uusimmat tasoa 1, joista löytyy kuljettajaa avustavia järjestelmiä (Kyytinen ym. 2017). Tällä hetkellä markkinoilla on saatavilla ajoneuvoja, joissa on kuljettajaa avustavaa tekniikkaa ja jotka luokitellaan tasoihin 1 ja 2 (ERTRAC 2017).

Kuljettajan tukijärjestelmiä edustavat muun muassa lukkiutumattomat ABS-jarrut, ajovaihtokauden hallinta, luistonesto, automaattivaihteisto tai automatisoitu manuaalivaihteisto, aktiivijousitus, törmäysvaroitin, adaptiivinen vakionopeudensäädin (ACC), ruuhka-ajovaihtokauden hallinta sekä kaistavaihtokauden hallinta (Kyytinen ym. 2017). Ajoneuvon ja ajotavan seurantaan liittyvää automaatiota edustavat auton sijainnin ja tien kaltevuuden perusteella moottorin tehoa optimoiva järjestelmä (*predictive powertrain control*) sekä rahdinseuranta (*Fleet Management*) (Kyytinen ym. 2017).

Ajoneuvoa ja ajotapaa seuraavista järjestelmistä on esimerkkinä älykäs mukautuva vakionopeudensäädin, joka edustaa SAE-tasoa 1. Scania (2011) ja Volvon (2019 a) mukaan se hyödyntää kaupallisen topografisen kartta-aineiston korkeustietoja ajettavan reitin polttoainetalouden maksimoimiseksi. Älykäs vakionopeudensäädin on yhteydessä moottoriin ja voimansiirtoon ja ohjaa täten moottorin kierroslukua ja vaihteiden vaihtamista automatisoidun vaihteiston avulla ajon kannalta optimaalisesti. Kartat ladataan ajoneuvoihin automaattisesti verkon välityksellä (Scania 2011, Volvo 2019 a). Mikäli ajettavan reitin korkeustietoja ei löydy aineistosta tai yhteys katkeaa, siirtyy järjestelmä mahdollisesti käyttämään yhteistä tietokantaa, joka koostuu muiden järjestelmän käyttäjien (ajoneuvojen) keräämästä datasta (Volvo 2019 a).

Volvo (2019 a) ja Scania (2011) kuvaavat älykkään mukautuvan vakionopeudensäätimen toimintaa seuraavasti: Ylämäkeen ajettaessa järjestelmä kasvattaa ajoneuvon liikemäärää kiihdyttämällä nopeutta, jolloin suuremman vaihteen voi pitää valittuna pidempään. Älykäs vakionopeudensäädin pyrkii myös välttämään tarpeettomia pienemmälle vaihteelle vaihtamisia tehden ylämäkiajosta polttoainetaloudellisempaa. Mäen päällä järjestelmä ennakoii tulevaa alamäkeä välttämällä kiihdyttämistä ja hillitsemällä ajonopeutta. Energian säästämiseksi ja jarrutustarpeen pienentämiseksi järjestelmä vaihtaa ennakoivasti vaihteen vapaalle ennen alamäkeä. Alamäessä järjestelmä säätelee jarruttamista ennakoivasti topografia-aineiston perusteella. Topografia-aineiston avulla järjestelmä tietää ennakoita, missä kohdassa mäki alkaa ja missä päättyy. Polttoaineenkulutuksen pienentymisen suhteen Volvo lupaa I-See -älykkään vakionopeudensäätimen pienentävän polttoaineenkulutusta jopa 5 % (Volvo 2019 a) ja Scania 3 % Active prediction -järjestelmän avulla (Scania 2011).

Joitakin kuljettajaa avustavia sovelluksia vaaditaan raskaan liikenteen ajoneuvoihin tietyissä tapauksissa. Asetuksessa ajoneuvojen käytöstä tiellä (1992/1257) vaaditaan yli 20,00 metriä pitkien kuorma-auton ja puoliperävaunun yhdistelmiltä sekä muilta yli 28,00 metriä pitkiltä ajoneuvoyhdistelmiltä kuljettajaa avustavia järjestelmiä tietyin poikkeuksin:

- Epäsuoran näkemisen laitteet, joilla kuljettaja näkee koko yhdistelmän sisäkaarteeseen puoleisen sivun ja sen läheisen alueen 26 §:n 2 tai 3 momentin mukaisessa käännöksessä molempiin suuntiin käännyttyessä.
- Vetoautossa on kehitetty hätäjarrutusjärjestelmä ja kaistavahtijärjestelmä.
- Elektroninen ajovakautusjärjestelmä ja sähköohjatut jarrut kaikissa yhdistelmän ajoneuvoissa
- Kuljettajalla tulee olla tieto kullekin yksittäiselle akselille ja telille kohdistuvasta massasta. Vetoajoneuvon etuakselin osalta tieto tulee olla kuitenkin vain, mikäli akseli on ilmajousitettu.

Kuitenkaan edellä mainittua kehittynyttä hätäjarrutus-, kaistavahti- ja elektronista ajonvakautusjärjestelmää ei vaadita neli- tai useampiakselisissa autoissa, N₃G-luokan ajoneuvossa (maastoajoneuvo), eikä kuorma-auton ja kahden puoliperävaunun yhdistelmässä.

Puutavara-autoista enemmistö (67,5 %) on neliakselisia vetoautoja, joita vuonna 2019 oli rekisteröitynä Suomessa 1095 (Metsätrans viitattu Metsäteho 2016). Viisiakselisia autoja samana vuonna oli vain 8 (0,5 %). Kolmiakselisia oli 520 (32,0 %). (Metsätrans viitattu Metsäteho 2016) Täten on huomattava, että esimerkiksi hätäjarrutus-, kaistavahti- ja elektronisia ajonvakautusjärjestelmiä ei vaadita 68,0 %:iin puutavara-ajoneuvoista.

4.3 Raskaan tieliikenteen automaation tulevaisuuden näkymät

Tieliikenteen automaation kehityskulku on nopeaa ja tällä hetkellä nopeampaa kuin muiden liikennemuotojen (Arola ja Antikainen 2017). Tosin on huomattava eri asiantuntijoiden tieliikenteen automaation kehityskulun ennusteissa olevan suuria eroja. Arolan ja Antikaisen (2017) mukaan ajoneuvovalmistajat ovat ennustaneen autonomisten automaatti-autojen tulevan yleiseen tieliikenteeseen rajatuille tieosuuksille vuoteen 2025 mennessä, mutta joidenkin ennusteiden mukaan autonomiset autot olisivat laajasti käytössä vasta 2070-luvulla.

Automaation kehityskulkua ja sen nopeatempoisuutta on toisaalta pidetty liian optimistisenä unohtaen vallitsevan tieliikennenympäristön asettamat haasteet automaatioteknologiaalle. Esimerkiksi kansainvälisen raskaiden kuorma-autojen valmistaja Scanian kestävä kehityksen ratkaisuja johtavan Alexander Mastroviton mukaan on mahdollista, ettei autonomisia itseajavia autoja tulla välttämättä näkemään koskaan (Kauppalehti 2019). Syyksi hän mainitsee teknologian odotettua hitaamman kehityksen sekä suuret ongelmat tekoälyssä. Myös Suomessa Liikenne- ja viestintäministeriö on havainnut, ettei automaatio tieliikenteen osalta ole edennyt niin nopeasti kuin alun perin ajateltiin, sillä realismi haasteiden osalta on tullut konkreettisemmaksi (Liikenne- ja viestintäministeriö 2020).

Myös automaatiojärjestelmän kattavuus (ODD) on arvioitu jopa tulevaisuudessa hyvin rajalliseksi ajoympäristöjen, olosuhteiden ja tilanteiden osalta. Slowikin ja Sharpen (2018) mukaan kaikenkattavan, kaikissa mahdollisissa tilanteissa sekä olosuhteissa,

mukaan lukien hätätilanteet, toimivan automaatiojärjestelmän kehittäminen arvioidaan äärimmäisen vaikeaksi.

Arolan ja Antikaisen (2017) mukaan eri liikennemuotojen liikennevälineiden automatisoinnin kehityskulku on pääpiirtein seuraavan mukainen:

1. vaihe: Liikennevälineissä yleistyvät kuljettajan päätöksentekoa ja toimintaa tukevat tuki- ja taustajärjestelmät.
2. vaihe: Puoliautomaattisten toimintojen yleistyminen: Liikennevälineet ovat tiedonsiirrossa keskenään ja viestivät toisilleen. Keskinäisen tiedonsiirron lisäksi ajoneuvot viestivät myös ympäröivän tieinfrastruktuurin kanssa.
3. vaihe: Liikennevälineet toimivat täysin autonomisesti kyeten itsenäiseen päätöksentekoon ja toimintaan.

Arolan ja Antikaisen (2017) mukaan kehityskulku ei ole välttämättä lineaarinen, vaan kehitysvaiheet voivat myös sekoittua ja tapahtua limittäin.

Vaiheen 1 kehityskulkuun liittyvät SAE-tason 1 sovellukset, kuten mukautuva vakionopeudensäädin, kaistanpitoavustin ja kaistanvaihtoavustin. Tasolla 1 on jo letka-ajoa mahdollistavia sovelluksia, kuten mukautuva vakionopeudensäädin, jolla letkan ajoneuvojen nopeudet ja etäisyydet toisiinsa saadaan sovitettua ajotilanteen mukaan automaattisesti. Vaiheen 2 automaatiota edustavat pääasiassa SAE-tasot 2 ja 3. SAE-tasolla 2 mahdollistuvat automaattinen letka-ajo sekä automatisoitu ruuhka-ajo. 3. vaihetta edustavat SAE-tasot 4 ja 5. On kuitenkin huomattava ainoastaan tason 5 olevan täysin autonominen, vaikka jo tasolla 4 todella moni toiminto onkin täysin autonomisia.

ERTRAC:n liikenteen automaation tiekartassa pääpaino on korkean automaation SAE-tason 4 raskaassa tieliikenteessä (ERTRAC 2019 b). SAE-tason 4 raskaissa ajoneuvoissa kuljettaja voi olla joko ajoneuvossa tai ajoneuvon ulkopuolella etävalvojana manuaaliajamista vaativia tilanteita varten. Tason 4 tiekartta tähtää korkean automaatiotason raskaisiin ajoneuvoihin, jotka kykenevät operoimaan automaattisesti suljetuilla- ja avoimilla

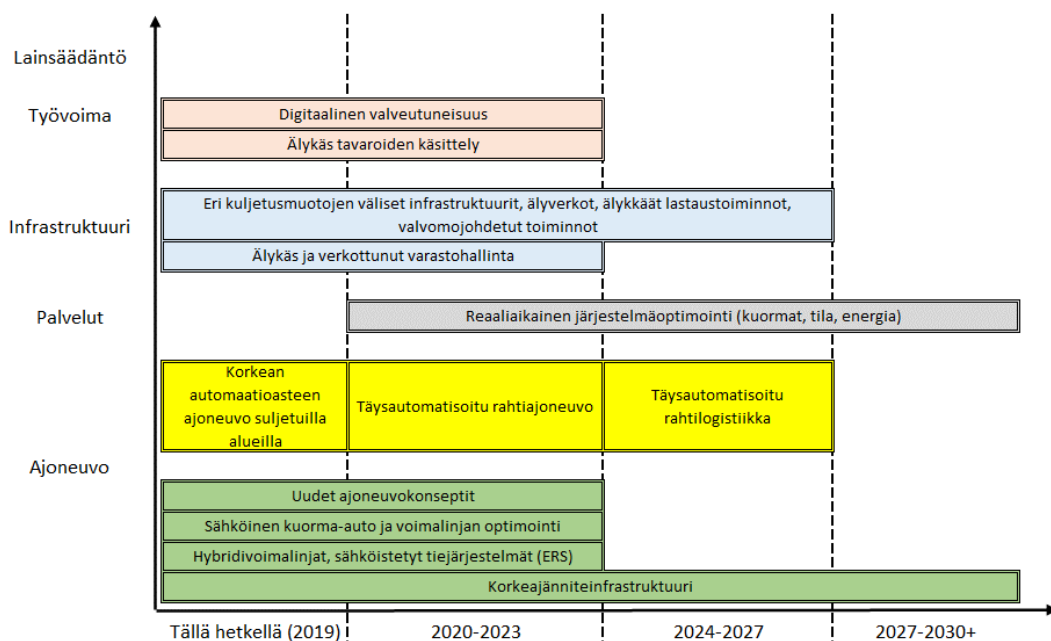
tiealueilla sekä logistiikkakeskusten välisillä reiteillä, joihin liittyy kiinteästi tarve automaattiajoneuvoille varatuille erillisille kaistoille (ERTRAC 2019 b). Syynä SAE-tason 4 painottamisessa on SAE-tasoon 3 liittyvät ongelmat vastuun jakautumisessa kuljettajan ja automaatiojärjestelmän välillä, mihin mm. Kulmala ym. (2019) viittaavat. Kulmala ym. (2019) esitti mahdollisena, ettei kuljettaja välttämättä pysty tarpeen vaatiessa ottamaan ajotehtävää itselleen pitkän automaattiajamisrupeaman jälkeen. Myös SAE-tasolla 2 on Kulmalan ym. (2019) mukaan ongelmia, sillä kuljettaja voi luottaa liiaksi automaatiojärjestelmiin ja täten väärinkäyttää järjestelmiä asettaen itsensä ja muut tien käyttäjät vaaraan. Näiden edellä mainittujen syiden vuoksi automaatiokehityksessä suositaan suoraa siirtymää SAE-tasojen 4–5 automaatioon. Suomen osalta erilaisia skenaarioita erotetuilla kaistoilla liikkuvan korkean automaation rahtiliikenteestä on laadittu Kulmala ym. (2019) tutkimuksessa (Taulukko 6).

Taulukko 6. SAE-tason 4 erotetuilla kaistoilla liikennöivien rahtiajoneuvojen ennustettu yleistymisen Suomessa kahden eri skenaarion (matala, korkea) mukaan. Muokattu ja käännetty lähteestä Kulmala ym. (2019).

| Automatisoidut rahtiajoneuvot erillisillä kaistoillaan | 2030 | | 2040 | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Matala skenario | Korkea skenario | Matala skenario | Korkea skenario |
| Osuus käytössä olevasta kalustosta (%) | 0,4 | 2,8 | 8,1 | 40 |
| Osuus ajetuista kilometreistä (%) | 0,6 | 3,9 | 9,6 | 47 |

Automatisoinnin kehityskulku sekä automaatiosovellukset ovat vahvasti sidoksissa ajoneuvon toimintaympäristöön eli siihen, millaisessa tie- ja liikenneympäristössä ajoneuvo liikennöi. ERTRAC (2019 a) on laatinut raskaan tieliikenteen automaation (rahtiliikenne) strategisen tiekartan jokaiselle tieliikenteen automaation sovellusympäristölle erikseen: suljetuille alueille (*Confined area*), erotetuille kaistoille (*Dedicated road/lane, Hub-To-Hub*), avoimille teille (*Open roads*) sekä kaupunkiympäristöihin (*Urban Environment*). Näin eri ympäristöjen asettamat vaatimukset voidaan ottaa huomioon automaation kehityksessä. Ongelmana erittelyssä on raskaan kaluston operoiminen monissa eri ympäristöissä, jolloin myös ajoneuvojen automaation on pystyttävä toimimaan eri ympäristöissä. On otettava huomioon, että tiekartat ovat luotu pääasiassa runkoliikenteen kappalestavarakuljetuksille.

Suljettujen alueiden liikenteen automatisointi on ERTRAC (2019 a) mukaan yksinkertaisinta ajoneuvojen automatisoinnissa. Suljettuja alueita edustavat terminaali- ja satama-alueet. Logistiikassa varastoinnin hallinnoinnin osalta pyritään tehokkaaseen ja turvalliseen toimintaan (ERTRAC 2019 a). Suljetut logistiikka-alueet ovat potentiaalisia jopa ilman kuljettajaa operoiviin ajoneuvoille ainakin pitkällä aikavälillä (Kuva 6). Alueella ajamisen lisäksi potentiaalisia automatisoitavia tehtäviä ovat kuormaus ja purku, joko etäohjaten tai täysautomaattisesti (ERTRAC 2019 a). Infrastruktuurin osalta kehityskohteita ovat älykkäät kuormaus- ja purkutoiminnot, älyverkot ja informaatiojärjestelmät. Työntekijöiden osalta vaaditaan sopeutumista työtehtävien muutokseen ja uuden oppimista. Heille tulee myös tarjota koulutusta uusiin tehtäviin (ERTRAC 2019 a).

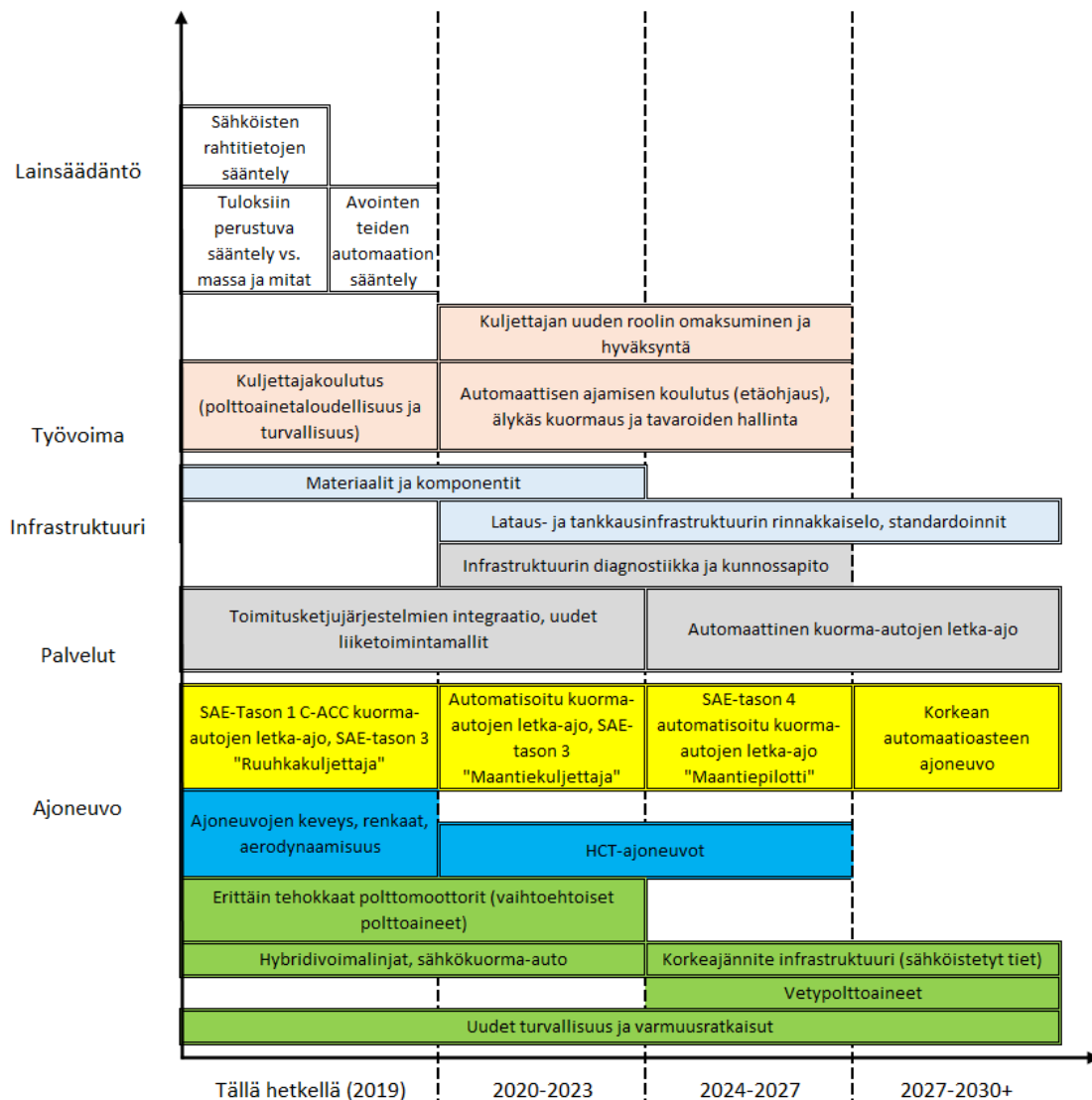


Kuva 6. Suljettujen alueiden automatisoinnin tiekartta. Muokattu ja käännetty lähteestä ERTRAC (2019 a).

Suljettujen alueiden kaltaisia tealueita voi löytyä varsin yllättävistä ympäristöistä. Metsäautotiet, jotka sijaitsevat kaukana pysyvästä asutuksesta ja loma-asutuksesta ovat käytännössä lähes suljetun kaltainen ympäristö, sillä niillä ei juuri liikennöidä kuin puuta-vara-autoilla (ks. Liikenne- ja viestintäministeriö 2020). Toisaalta edellä kuvatun kaltaiset metsäautotiet eivät Suomessa ole suljettuja muulta liikenteeltä, eli kuka tahansa voi ajaa niillä. Tämä mahdollisuus tuo mukanaan sen, etteivät kyseiset metsätiet ole täysin suljettuja ympäristöjä, vaikka niistä löytyykin suljettujen ympäristöjen piirteitä. Jotta

metsäautotie muistuttaisi suljettua ympäristöä, pitäisi tien liikenteen olla ohjattua ja ulkopuolisten pääsy alueelle estettyä.

Avoimien alueiden osalta voidaan todeta ERTRAC:n (2019 a) luonnostelevan aikataulun olevan Suomen kannalta liian optimistinen, sillä tällä hetkellä ei ole käytössä edes letka-ajoa missään kuljetustoiminnoissa, vaikka kokeiluhankkeita onkin ollut käynnissä. Korkeampaa automaatiotasoa tavoiteltaisiin jo vuodesta 2020 alkaen (Kuva 7), eikä Suomessa tällä hetkellä oleva kuljetuskalusto edusta kuin tasoja 0–2.



Kuva 7. Avoimen tieympäristön raskaan liikenteen automatisoinnin tiekartta. Muokattu ja käännetty lähteestä ERTRAC (2019 a).

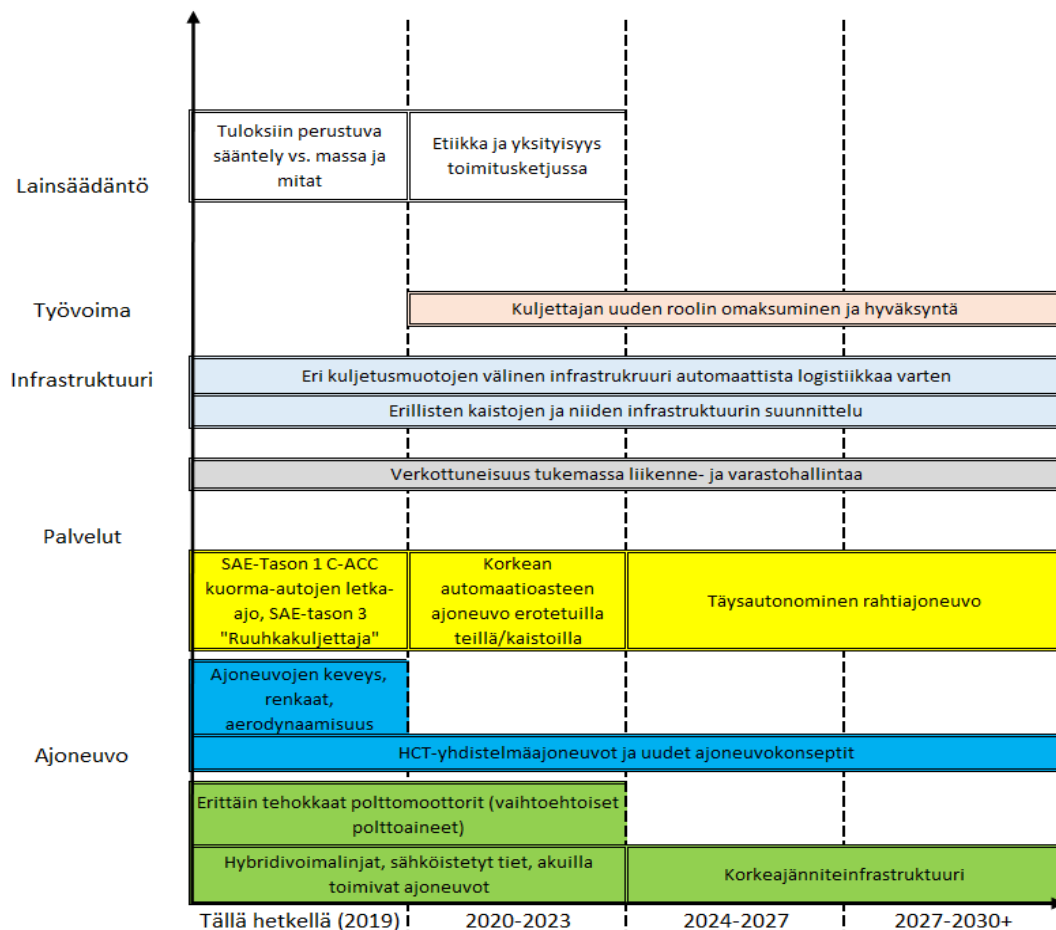
Avoimilla tiealueilla polttomoottorikäyttöisiä raskaita ajoneuvoja tullaan käyttämään vielä pitkään etenkin pitkien matkojen kuljetuksissa (ERTRAC 2019 a). Kuormakokojen kasvattaminen (HCT-ajoneuvot) kuljetustehokkuuden ja ympäristökuormituksen vähentämiseksi on tärkeä keino automaation ohella (ERTRAC 2019 a). Lyhyellä aikajänteellä avoimen tieliikenteen automaatio käsittää raskaan liikenteen letka-ajon lyhyillä matkoilla (ERTRAC 2019 a). Keski-pitkän aikavälin tavoitteena on automaattinen letka-ajo valta-teillä (liittymästä liittymään välillä) kaikilla kaistoilla, jolloin automaatio huolehtii ohittamisesta ja kaistanvaihtoista (ERTRAC 2019 a).

Korkeasta automaatiotasosta huolimatta kuljettajaa tarvitaan haastavissa avoimen tieliikenteen ympäristöissä sekä kaupunkiympäristössä ajettaessa (ERTRAC 2019 a). Automaatiokehityksen alkuvaiheessa automaation rooli on kuljettajan tukemisessa, mutta kehityksen mukana automaatio ottaa yhä enenevässä määrin kuljettajan tehtäviä hoidettavakseen (Kuva 7). Tavoitteena on pitkälle automatisoitu ajoneuvo, jossa kuljettamisesta huolehtii automaatiojärjestelmä (ERTRAC 2019 a).

Tulevaisuudessa kaupunkiympäristössä operoivilta raskailta ajoneuvoilta vaaditaan päästöttömyyttä (ERTRAC 2019 a). Tähän tavoitteeseen tähdätään muun muassa täyssähköisten kuorma-autojen kehittämisellä sekä hybridi-voimansiirtojärjestelmällä (Kuva 7). Erityisesti kaupunkiympäristöön suunnitellut raskaat ajoneuvot ovat mahdollisesti modulaarisia, jolloin niitä voidaan muokata kuljetustehtävien mukaisesti. Kaupunkiliikenteessä täysautomaattisille ajoneuvoille voidaan rakentaa täysin omat kaistansa, joilla ne voivat operoida turvallisesti (ERTRAC 2019 a).

Terminaalien tai satamien ja tehtaiden väliselle raskaalle liikenteelle (*Hub-To-Hub*) on ominaista varsin osittainen kontrolloitu liikenneympäristö. Hub-To-Hub -raskaaseen liikenteeseen sisältyy sekä suljettuja ympäristöjä sekä avoimia tieympäristöjä (ERTRAC 2019 a). Osittaisen kontrolloidun ympäristön ansiosta terminaalien ja tehtaan välinen liikenne omaa yhtymäkohtia suljettujen ympäristöjen kanssa, minkä takia terminaalitehdasliikenteessä voidaan osin hyödyntää samoja teknologioita kuin suljetuissa ympäristöissä (ERTRAC 2019 a).

Automatisoinnin kannalta kehityskohteita ovat automaattiset ja/tai etähallitut ajoneuvot, joilla voidaan operoida suljetuilla terminaali-, satama- ja tehdasalueilla sekä niiden välillä avoimessa tieliikenneympäristössä (Kuva 8). Automatisoinnin tavoitteena on myös kuormankäsittelyn automatisointi. Avoimessa tieliikenneympäristössä raskaan liikenteen automatisoidun letka-ajon mahdollistaminen tehtaiden ja satamien välillä on yksi automaation avulla saavutettava hyöty (ERTRAC 2019 a). Letka-ajoa varten usein tarvitaan letkassa ajaville automaattisille ajoneuvoille omat kaistansa (*Dedicated road/lane*) (Kuva 8) (ERTRAC 2019 a). Infrastruktuurin osalta fyysinen ja digitaalinen infrastruktuuri ovat tärkeitä. Modulaariset vaihdettavat ja kytkettävät kuljetusyksiköt, jotka voidaan automaattisesti kytkeä vetoautoihin, tuovat sujuvuutta logistiikkaan (ERTRAC 2019 a).



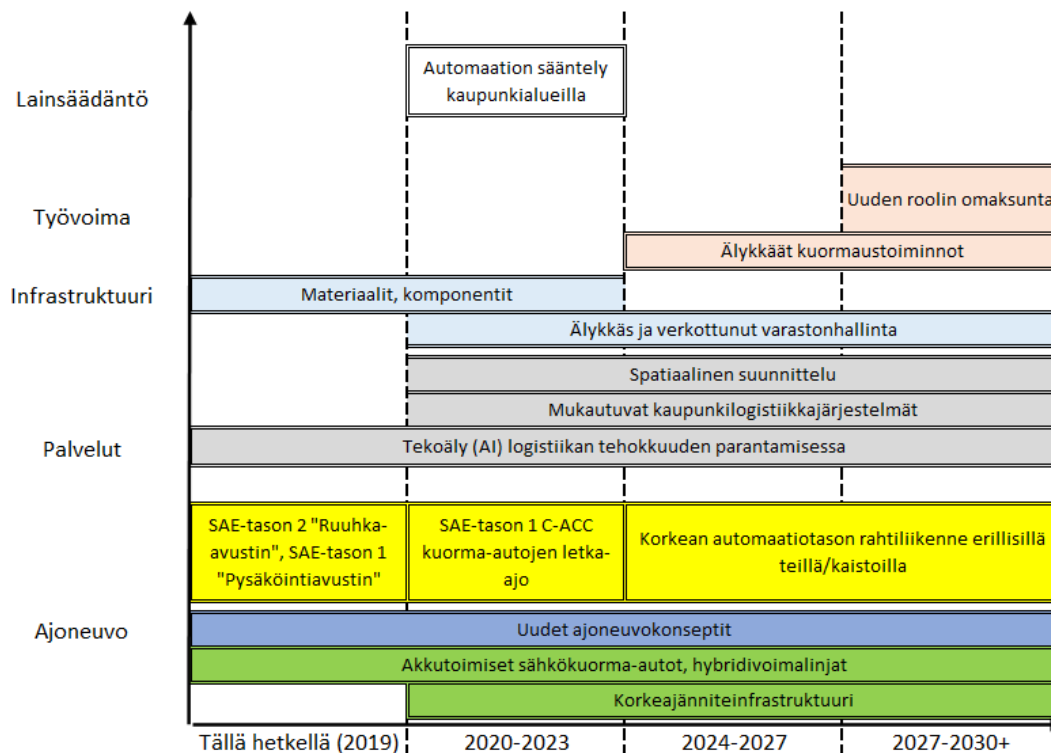
Kuva 8. Terminaalien ja tehtaiden välisen raskaan liikenteen automatisoinnin tiekartta. Muokattu ja käännetty lähteestä ERTRAC (2019 a).

Yleinen kehitys tähtää korkean automaatioasteen raskaiden ajoneuvojen liikennöintiin satamien ja logistiikkakeskusten välillä erillisillä kaistoillaan vuodesta 2020 alkaen (Kuva 8). Tämä ei ole kuitenkaan vielä toteutunut Suomessa. Täysin automatisoituja raskaita

ajoneuvoja tavoitellaan saatavaksi liikenteeseen 2024 alkaen (Kuva 8). Työntekijöiden työnkuvan muuttuminen on riippuvainen käyttöönotettavan automaation tasosta (ERT-RAC 2019 a). Osittaisessa automaatiossa kuljettajien on muuntauduttava uuteen rooliin ja opittava uusia taitoja. Heidän tulee myös toimia yhteistyössä automaation kanssa. Korkeammassa automaatiossa kuljettajan on omaksuttava valvova rooli, jolloin kuljettaja ajamisen sijaan suunnittelee, valvoo ja tarkkailee sekä huolehtii työn laadusta.

Suomessa satamien ja teollisuuslaitosten ulkologistiikka on varsin vähän automatisoitu. Kuva 8 tiekartan mukaan terminaalien ja tuotantolaitosten välinen liikenne edustaisi korkeaa automaatiotasoa jo vuodesta 2020 eteenpäin erikseen määritellyillä teillä. Tällä hetkellä voidaan Suomen tapauksessa todeta, ettei tiekartan aikataulussa pysytä, sillä Suomessa ei ole lainkaan omia kaistoja korkean automaatiotason ajoneuvoille. Hyvin kuvaa on myös se, ettei Suomessa ole korkean automaation satamia lainkaan.

Kaupunkialueilla reittioptimointi näyttelee merkittävää roolia logistiikan tehokkuuden parantamisessa (ERTRAC 2019 a). Logistiikkakeskusten sijoitteluun kohdistuu haasteita, sillä keskusten tulisi olla lähellä kaupunkialueita, mutta samalla kaupunkialueilla sijaitsevat tontit ovat kalliita (ERTRAC 2019 a). Infrastrukturi ja toiminnot uudenaikaisissa logistiikkakeskuksissa tulevat olemaan älykkäitä ja automatisoituja (Kuva 9). Kaupunkiympäristöihin sijoittuvissa kuljetuksissa ihmiskuljettajaa tullaan arvioiden mukaan tarvitsemaan vielä 2030-luvulla (ERTRAC 2019 a). Kuljettajan työtehtävien kehitys saattaa muuttaa kuljettajan työnkuvaa palvelun tarjoajaksi ja kontaktiksi asiakkaan ja tarjotun palvelun välillä (ERTRAC 2019 a).



Kuva 9. Raskaan liikenteen automaation tiekartta kaupunkiympäristössä. Muokattu ja käännetty lähteestä ERTRAC (2019 a).

4.4 Raskaan liikenteen automaation kehityshankkeita

4.4.1 Yhdistelmäajoneuvojen letka-ajaminen

Letka-ajosta (platooning) on arveltu olevan hyötyä kuljettajien raskuustason laskemisessa ja tehokkuuden parantamisessa (Pilli-Sihvola ym. 2015). Polttoainetaloudellisuus on letka-ajon merkittävä etu, sillä letkassa etummaisen ajoneuvon takana kulkevat ajoneuvot hyödyntävät edellä ajavan ajoneuvon perävirtauksia, jolloin niiden ilmanvastus pienenee.

Yksinkertaisimmillaan letka-ajaminen tarkoittaa ainakin kahden kuorma-auton tai yhdistelmäajoneuvon peräkkäin ajamista keskinäiset ajoetäisyydet ja ajolinjat säilyttäen (Brizzolara ja Toth 2016, Janssen ym. 2015). Ajoneuvojen väliset etäisyydet voivat olla vain 0,3 sekuntia, mikä 80 km/h nopeudessa tarkoittaa noin 6,7 metriä (Janssen ym. 2015). Peräkkäin ajo pienin etäisyyksin on mahdollista ajoneuvojen automaatiojärjestelmien ja V2V-verkottuneisuuden avulla, jolloin letkan ajoneuvot voivat kommunikoida keskenään letkan kulun koordinoimiseksi ja kontrolloimiseksi (Brizzolara ja Toth 2016,

Janssen ym. 2015, Bergenhem ym. 2010). Letkan tehokkaan toiminnan mahdollistamiseksi tarvitaan lisäksi ajoneuvojen V2X-verkottumista esimerkiksi kuljetuksenohjausjärjestelmiin (Bergenhem ym. 2010).

Letka-ajamisen määrittelyt vaihtelevat. SARTRE:n (EU:n rahoittama ajoneuvojen automaattiseen letka-ajoon erikoistunut projekti) määrittelyn mukaan letka-ajamisessa johtavaa ajoneuvoa ajetaan manuaalisesti ja letkan perässä ajavien ajoneuvojen pitkittäis- ja poikittaissuuntainen ohjaus sekä ympäristön havainnointi tapahtuu automaattisesti, mikä mahdollistaa kuljettajan tekemän ajon aikana muuta työtä tai lepäävän (Bergenhem ym. 2010, Janssen ym. 2015). Perässä automaattisesti ajavien ajoneuvojen kuljettaja voi kuitenkin tarvittaessa ottaa ajoneuvon hallinnan, esimerkiksi letkasta irtauduttaessa (Bergenhem ym. 2010). Kyseessä on tällöin SAE-tasojen 3 ja 4 automaatio. Letkasta irtautuminen tai letkaan liittyminen eivät vaadi letkan pysäyttämistä, vaan ne voidaan tehdä letkan ollessa liikkeessä (Janssen ym. 2015). Kärjessä ajava ajoneuvo määrittää letkan ajonopeuden, paikan ja ajolinjan ja perässä ajavat ajoneuvot seuraavat perässä täysin synkronoidusti, muodostaen yhtenäisesti toimivan letkan (Brizzolara ja Toth 2016, Bergenhem ym. 2010).

Yksinkertaisimmissa sovelluksissa letka-ajamisessa johtoajoneuvon perässä ajavien ajoneuvojen nopeus on säädelty automaattisesti, jotta välimatkat edellä ajavaan saadaan pidettyä oikeina kaikissa tilanteissa ja poikittaissuuntainen ohjaus tapahtuu kuljettajan toimesta (Brizzolara ja Toth 2016). Tämä edustaa SAE-tasoa 1.

Välimatkojen pienentämisellä tähdätään letkan ajoneuvojen aerodynaamisuuden parantumiseen ja siten polttoainetalouteen, kun letkassa ajetaan edellisen ajoneuvon perävirtauksen synnyttämässä imussa. Letka-ajolla voidaan saavuttaa jopa 4–15 %:n säästö polttoaineenkulutuksessa (Brizzolara ja Toth 2016, Slowik ja Sharpe 2018) ja täten myös voidaan pienentää kuljetusten kasvihuonepäästöjä (Janssen ym. 2015). Polttoainesäästöt eivät jakaudu tasaisesti letkan ajoneuvojen kesken, sillä johtoajoneuvon polttoaineenkulutus on suurin (Lu ja Shladover 2011). Lun ja Shladoverin (2011) mukaan kolmesta puoliperävaunuyhdistelmästä koostuvan letkan ensimmäisen ajoneuvon polttoainesäästö on noin 4,3 %, letkan toisen ajoneuvon noin 10 % ja kolmannen 14 % ajettaessa 85 km/h nopeudella tasaisella tiellä.

Muita letka-ajamisella tavoiteltavia hyötyjä ovat kuljettajan muun työn tai lepoajan mahdollistaminen ajon aikana (Brizzolara ja Toth 2016). Letkan johtoajoneuvoa ajon aikana vaihtamalla mahdollistetaan pidemmät ajoajat. Kuljettajan ajoajan loppuessa letkan perältä vaihdetaan levännyt kuljettaja johtamaan letkaa ja edellinen johtoajoneuvo siirtyy kuljettajineen letkaan automaattiseen ajotilaan, jolloin kuljettaja voi levätä (Janssen ym. 2015). Seuraava suuri kehitysaskel liittyy kuljettajien työvoiman tarpeen pienentämiseen mahdollistamalla letka-ajo vain yhdellä kuljettajalla siten, että vain johtoajoneuvossa on kuljettaja ja perässä ajavat ajoneuvot seuraavat sitä autonomisesti ilman kuljettajaa (Janssen ym. 2015).

Letka-ajon polttoainetaloudellisten hyötyjen suuruuteen mahdollisesti vaikuttavat ympäröivät olosuhteet, kuten ilman lämpötila ja kosteus, tuuli, tien kunto, topografia ja liikeneruuhkat (Slowik ja Sharpe 2018). Slowik ja Sharpe (2018) muistuttavat kuitenkin letka-ajon havaittujen vaikutusten olevan seurausta varsin rajallisissa olosuhteissa suoritetuista kenttäkokeista, joiden yleistettävyydessä erilaisiin ja todellisiin tieolosuhteisiin pitää olla varovainen. Täytyy myös muistaa raakapuun kuljetuksen olevan kuormatilojen suhteen erilaista rahdin ajossa käytettyihin umpinaisiin kuormatiloihin. Ulkopinnoiltaan epäsäännöllinen raakapuukuorma muodostaa todennäköisesti enemmän pyörteitä ilmavirtaan kuin umpinainen kuormatila, jolloin ajoneuvon etenemistä vastustavia voimia voisi ajatella olevan enemmän kuin rahdin kuljetuksessa, vaikka kuorman kehysmitat olisivatkin samat. Sivutuotehakkeen kuljetuksessa puolestaan käytetään umpinaisia kuormatiloja, jolloin mm. Slowikin ja Sharpen (2018) sekä Lun ja Shladoverin (2011) tutkimuksissa esitetyt letka-ajon polttoainesäästöt voivat olla paremmin yleistettävissä hakkeenajoon kuin raakapuukuormien ajoon.

Letka-ajamisen testihankkeita yleisillä teillä Pohjoismaissa on tehty Norjassa Scanian ja kuljetusliike Ahola Transportin yhteistyöllä (Scania 2018). Myös Suomessa on tehty letka-ajokokeita, joista kuitenkin on vielä tiedotettu hyvin vähän.

4.4.2 Puutavara-autojen letka-ajokoe Kanadassa

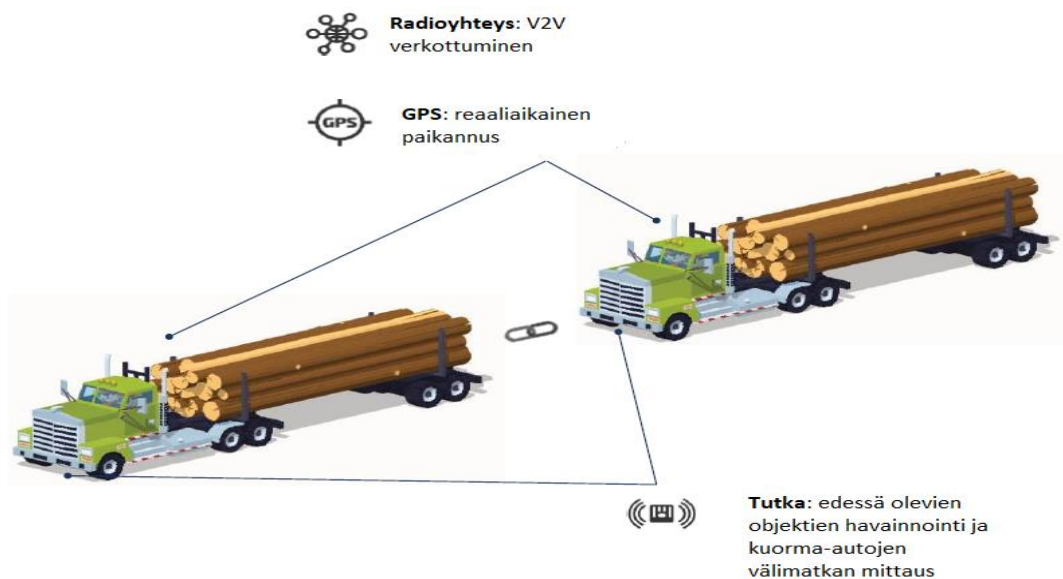
Suomessa raakapuun autokuljetusketjun automatisointia ei ole tutkittu, eikä siihen liittyviä kenttäkokeita ole tehty. Kanadassa sen sijaan on tehty kokeita puutavara-autojen letka-ajosta. FPInnovationsin koordinoima yhden päivän mittainen puutavara-autojen letka-ajokoe suoritettiin Rivière-aux-Rats:ssa Quebecissä (Harvesttech 2019). Kokeessa ajettiin 75 kilometrin pituista reittiä sahalaitoksen ja hakkuutyömaan väliä (Harvesttech 2019), yhteensä 400 km matka (FPInnovations 2019 a). Tutkimus tähtäsi metsäteollisuuden letka-ajon sekä automaattisten autonomisten puutavara-autojen kehitykseen (FPInnovations 2019 a, Harvesttech 2019). Puutavara-autojen letka-ajokoe keskittyi pääasiassa testaamaan letka-ajon turvallisuutta sekä automaatioteknologian toimivuutta metsätieverkolla (FPInnovations 2019 a).

FPInnovationsin (2019 a) mukaan metsätiet, joille koe sijoittui, olivat mäkisiä ja mutkaisia. Mutkaisuuden sekä metsäteitä reunustavan puuston takia paikannus GPS- signaalin avulla mainittiin olleen epätarkkaa, sillä puuston aiheuttamat katveet osin estivät paikannuksen tietyissä kohdissa (FPInnovations 2019 a).

FPInnovationsin (2019 a) koeasetelmassa letkan muodostivat kaksi puoliperävaunuyhdistelmää (Kuva 10), joiden välinen etäisyys letkassa vaihteli 100–300 jalan (30,5–91,4 m) välillä. Kokeessa testattu automaatio edusti SAE-tasoa 1. Kummassakin ajoneuvossa oli kuljettaja ohjaamossa. Letkan ensimmäisessä ajoneuvossa kuljettaja huolehti ohjaamisesta, jarruttamisesta sekä kiihdyttämisestä (FPInnovations 2019 a). Perässä ajavan ajoneuvon automaatiikka huolehti jarruttamisesta ja kiihdyttämisestä, mutta ajoneuvon ohjaaminen oli kuljettajan vastuulla (FPInnovations 2019 a). Turvallisuussyistä koeasetelmassa käytettiin tyhjänä ajavia puutavara-autoyhdistelmiä. Letkan ajonopeus oli vähintään 64 km/h (40 mph) (FPInnovations 2019 a).

Kokeessa käytetyt puutavara-autot olivat toisiinsa yhteydessä radioyhteydellä, jonka avulla muun muassa viestit koskien jarruttamista ja kiihdyttämistä voitiin välittää letkan ensimmäisenä ajavalta ajoneuvolta sen perässä ajavalle ajoneuville (Kuva 10). Radioyhteys toteutettiin lyhyen kantaman radioyhteydellä (DSRC) (Canadian Forest Industries 2018). Ajoneuvojen paikannus perustui GPS-paikannukseen. Kumpikin letkan ajoneuvo

oli lisäksi varustettu tutkilla, jotka havainnoivat ajoneuvon edellä olevaa ympäristöä (Kuva 10). Tutkan avulla voitiin havainnoida edellä olevia kuoppia ja mahdollisia esteitä sekä ajoneuvojen välimatkaa (FPInnovations 2019 a). Tutkien tuottaman tiedon avulla perässä ajavan ajoneuvon automatiikka sääтели jarrutusta sekä kiihdytystä (FPInnovations 2019 a).



Kuva 10. Puutavara-ajoneuvojen letka-ajo. Käännetty lähteestä FPInnovations (2019 a).

Alustavien havaintojen perusteella automatiikka toimi paremmin kuin oli odotettu (FPInnovations 2019 a). GPS- ja radiosignaalien heikentyminen katveiden takia kuitenkin toi aiheutta jatkokehittelylle (FPInnovations 2019 a). Tarkempia tuloksia kokeesta ei ole vielä julkistettu.

Kokeen asetelma, olosuhteet sekä havainnot ovat osin liitettävissä Suomen raakapuukuljetuksiin, sillä Kanadan talviolosuhteet ovat varsin saman kaltaiset kuin Suomen eli tie liikenteeseen vaikuttavat pöly, pimeys, lumi, kura, tuuli. Kanadan ilmasto ylipäänsä muistuttaa varsin läheisesti Suomen ilmastoa, sillä FPInnovationsin (2019 a) koeasetelmassa lämpötilat vaihtelevat noin $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-50\text{ }^{\circ}\text{F}$) ja $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($+100\text{ }^{\circ}\text{F}$) välillä.

Tiestön kunto ja ominaisuudet jäivät tutkimuksen kuvauksissa varsin epäselviksi, joten annetun tiedon pohjalta on vaikea arvioida, vastaavatko tiestön ominaisuudet Suomen maanteiden ja metsäteiden ominaisuuksia. FPInnovationsin testistä julkaiseman videon

pohjalta syntyi kuva hyväkuntoisista sekä leveistä metsäteistä, joilla kaksi kohtaavaa puutavara-autoa mahtuvat ohittamaan toisensa. Tällaisia metsäteitä ei juuri Suomesta löydy. Mikäli videon pohjalta muodostunut kuva pitää paikkaansa, voi letka-ajo muodostua hankalaksi Suomen metsäteillä. Toisekseen tarve letka-ajolle Suomen metsäteillä ei välttämättä ole suuri, johtuen muun muassa hakkuutyömaiden pienestä keskikoosta.

Myöhemmin FPInnovations suoritti letka-ajokokeita puutavara-autoilla, joissa myös poikittaissuuntainen hallinta oli automatisoitu, eli kyseessä on SAE-taso 2 (FPInnovations 2019 b). Ajoneuvoissa edelleen kuitenkin oli kuljettaja vara-ajajana. Hankkeen jatkokehitys tähtää SAE-tason 4 automaattiseen letka-ajoon, jossa vain johtoajoneuvossa tarvittaisiin kuljettajaa (FPInnovations 2019 b).

4.4.3 Tieliikenteen automaation hankkeet Suomessa ja Volvon autonominen sähkökuorma-auto

Aurora-älytiehanke oli Liikenneviraston vuosina 2016–2018 toteuttama hankekokoaisuus, jossa pyrittiin edistämään älyliikenteen ja väylänpidon digitalisaatiota ja automatisaatiota (Väylävirasto 2019 c). Hanketta varten valtatielle 21 (Kolari–Kilpisjärvi) rakennettiin 10 km pituinen älytie, jolla voidaan testata älykkään ja automaattisen liikenteen ratkaisuja pohjoisilla leveysasteilla arktisissa olosuhteissa. Hankkeessa raskaiden ajoneuvojen osalta tutkimus kohdistui niiden aiheuttaman päällysteeseen ja tierakenteeseen kohdistuvan kuormituksen selvittämiseen eri vuodenaikoina (Väylävirasto 2019 c). Tietoa hyödynnetään tierasituksen arvioinnin kehittämiseksi. Metsäteollisuuden kuljetuksissa siirryttäessä kokonaismassoiltaan suurempiin ajoneuvoyhdistelmiin, tulee uuden kaluston vaikutus tierasitukseen selvittää.

Hyötyajoneuvovalmistaja Volvo on suunnitellut täyssähköisen ja verkottuneen autonominen lyhyille kuljetusetäisyyksille tarkoitetun raskaan vetoajoneuvon Veran, jota seurataan etänä etävalvomosta (Volvo 2019 b). Maksiminopeus sillä on 40 km/h. Vera:n on määrä liikennöidä ennalta määrätyillä julkisilla teillä teollisuusalueella logistiikkakeskuksen ja Göteborgin sataman välillä (Volvo 2019 b).

5 RASKAAN LIIKENTEEN AUTOMAATIOLLA TAVOITELTAVAT HYÖDYT

5.1 Automaattisen ajamisen hyödyt yleisesti

Yleisellä tasolla tieliikenteen automatisoinnin hyötyjä on tarkasteltu muun muassa turvallisuuden, energian kulutuksen, ympäristöystävällisyyden, liikkuvuuden, liikennekäyt-
täytymisen, tieverkon tehokkuuden ja taloudellisten vaikutusten suhteen (Innamaa ja Kuisma 2018, Arola ja Antikainen 2017, Kulmala ym. 2019, ERTRAC 2019 a). Tielii-
kenteen automaation vaikutuksia voidaan tarkastella kunkin hyödyn osalta avainindikaat-
torien eli KPI:n (*Key Performance Indicator*) avulla (Innamaa ja Kuisma 2018), jotka
konkreettisesti ilmaisevat automaation vaikutuksen numeerisessa muodossa. Innamaa ja
Kuisma (2018) määrittivät muun muassa seuraavia avainindikaattoreita:

- Polttoaineenkulutus (l/100 km)
- CO₂-päästöt (/km tai /vuosi)
- Automaattisen ajoneuvon kulut (hankinta- ja käyttökulut/ km)
- Työajan lisäys ajonaikaisesta muusta työstä (tunteja/vuosi, rahallinen arvo)

Digitalisaatio ja automatisaatio aiheuttavat suuria muutoksia tieliikenteessä logistiikan
informaation, tavaroiden liikkumisen sekä logistiikan liiketoimintamallien suhteen
(Ventä ym. 2016). Logistiikassa robotiikkaa sekä siihen sidoksissa olevaa automaatiotek-
nologiaa puoltavat tuottavuuden ja turvallisuuden kasvun tavoittelu (Ventä ym. 2016 ja
2018). Liikenteen älykkään automaation kehitys ja yleistyminen tarjoaa suuria mahdolli-
suuksia liikenteen ja kuljetusten turvallisuuden, tehokkuuden sekä sujuvuuden paranta-
miseksi (Arola ja Antikainen 2017). Tielikenteen älykäs automaatio tähtää myös tieli-
kenteen haitallisten ympäristövaikutusten merkittävään vähentämiseen (Arola ja Antikai-
nen 2017, ERTRAC 2019 a).

Arolan ja Antikaisen (2017) mukaan automatisoinnilla pyritään vapauttamaan ihmisen
kapasiteettia usein yksinkertaisista ja toistoa vaativista tehtävistä sellaisiin tehtäviin,
joissa ihmisen työpanos on merkittävä ja usein kriittinen. Tielikenteessä ympäristön ha-
vainnointi on kuljettajan tärkeimpiä tehtäviä, joka vaatii kuljettajalta paljon

tarkkaavaisuutta sekä henkisiä resursseja. Automatisoitavia tärkeimmiltä tehtäviltä resursseja vieviä toimintoja ovat erilaiset liikenteen taustalla tapahtuvat tuki- ja operointitoiminnot, joiden toimintaa voidaan parantaa taustajärjestelmien yhteensopivuutta ja automaatiota lisäämällä (Arola ja Antikainen 2017).

Automaattiset järjestelmät parantavat ympäristön havainnointia ja ajonopeuden hallintaa (Pöyskö ym. 2016). Ajoneuvojen automatiikka säätelee ajonopeutta, turvavälejä ja ajo-
linjoja jättäen kuljettajalle enemmän mahdollisuuksia keskittyä isompiin ohjausliikkeisiin, kuten kääntymisiin, liittymisiin ja teiltä poistumisiin (Pöyskö ym. 2016). Automatiisaatiosta ja autojen autonomiasta on kaavailtu helpotusta myös logistiikan alan kuljettajapulaan (Pilli-Sihvola ym. 2015) ja kuljettajien vaihtuvuuteen (Ventä ym. 2016).

Suuren mittakaavan tavoitteena liikenteen automaatiolla on parantaa koko tieverkon liikenteen sujuvuutta, joka edelleen parantaa kuljetusten kokonaistehokkuutta ja pienentää päästöjä, kun esimerkiksi ruuhkien syntymistä voidaan välttää (ERTRAC 2019 a). Raskaassa tieliikenteessä selkeimpinä esille nousseet automaation arvioidut hyödyt ovat yleisesti ottaen turvallisuuden ja tehokkuuden kasvu (Pöyskö ym. 2016, Slowik ja Sharpe 2018, Nowakowski ym. 2015) sekä polttoaine- ja työvoimakustannusten pienentyminen (Slowik ja Sharpe 2018, Nowakowski ym. 2015). Pöyskön ym. (2016) mukaan automaatio tuo kustannustehokkuutta operoinnin yksikkökustannusten vähentyessä ja investoinnin käyttöasteen kasvaessa. Tehokkuudessa ja polttoainetaloudessa kuljettajien välisten erojen on arveltu pienentyvän entisestään automaatiota lisäämällä (Slowik ja Sharpe 2018). Polttoainetaloudessa ammattitaitoisen ja aloittelevan kuljettajan välillä voi olla eroa jopa 20 % (ERTRAC 2012). Hyötyjä on arvioitu saatavan riittävästi raskaissa kuorma-autoissa jo matalammillakin automaation tasoilla (esim. SAE-taso 2), esimerkiksi letka-ajamisessa hyödynnettyinä (Nowakowski ym. 2015). Eritoten kuljettajat arvioivat merkittävimmäksi työnsä kannalta ajamisen aiheuttaman kuormituksen pienentymisen (Slowik ja Sharpe 2018), polttoainetalouden parantumisen sekä päästöjen pienentymisen (Penttinen ym. 2019). Kuljettajan kuormittuneisuuden pienentämisessä Slowik ja Sharpe (2018) havaitsivat pelkästään jo automatisoidun manuaalivaihteiston (AMT) (SAE-taso 0) tuoneen suurta hyötyä, kun vaihteiden vaihto tapahtuu automatisoidusti.

Merkittävimmät hyödyt ovat Anderssonin ja Ivehammarin (2019) mukaan saavutettavissa vasta, kun ajoneuvot voivat toimia ilman kuljettajaa, jolloin kuljetustoiminnan resurssitarve vähenee merkittävästi. Merkittäviä tuottavuushyötyjä on myös arvioitu saavutettavan, mikäli automaattisella ajamisella voidaan pienentää kuljetuksiin tarvittavaa ajoaikaa (Brizzolara ja Toth 2016, Janssen ym. 2015). Automaattisen ajamisen aikana kuljettaja voisi tehdä muuta työtä, kuten kuljetusten suunnittelua tai käyttää ajan leppäämiseen. SAE-tason 4 automaatio mahdollistaa esimerkiksi letka-ajamisen ilman kuljettajia johtojoneuvon perässä ajavissa ajoneuvoissa, mikä osaltaan voisi mahdollistaa kuljetustoiminnan ylläpitämisen pienemmillä kuljettajaresursseilla (Janssen ym. 2015). Itseajavien kuorma-autojen merkittävin hyöty tällöin olisi Andersonin ja Ivehammarin (2019) mukaan säästöt kuljettajien palkkakustannuksissa. Säästöjä saadaan, mikäli kuljettajat voisivat tehdä ajamisen sijaan muita kuljetukseen liittyviä työtehtäviä sekä pienentämällä kuljettajien työvoimatarvetta.

On havaittava, että useat edellä mainitut hyödyt ovat usein kytkeytyneitä toisiinsa, kuten kuormituksen väheneminen ajamisessa ja turvallisuus, jolloin hyötyjen keinoitekoinen erottelu voi tuoda hankaluutta hyötyarvioiden tulkinnassa (Slowik ja Sharpe 2018). Tärkeää on myös todeta, ettei automaatioteknologia yksin ole riittävä hyötyihin pyrittäessä. Kuten Slowik ja Sharpe (2018) totesivat, on myös ajoneuvoteknologisilla ratkaisulla, kuten moottoriteknologisilla ja aerodynaamisilla ominaisuuksilla, suuri merkitys pyrittäessä parantamaan turvallisuutta ja polttoainetaloutta.

Liikenteen turvallisuuteen vaikuttaa monta eri tekijää. Merkittävä osa tieliikenneonnettomuuksista on seurausta inhimillisestä virheestä. On havaittu inhimillisen virheen olleen yhtenä monista onnettomuuteen johtaneista syistä jopa 95 % maantieliikenneonnettomuuksista (ERTRAC 2012). Kuolemaan johtaneista onnettomuuksista lähes jokaisessa on ollut syynä inhimillinen virhe (Arola ja Antikainen 2017).

Liikenneturvan (2019) tilastokatsauksen mukaan vuosien 2009–2018 aikana raskaan liikenteen (kuorma- ja linja-autot) aiheuttamissa onnettomuuksissa oli vuosittain kuolemantapauksia keskimäärin 78 ja loukkaantumisia 500, joista suurin osa sijoittui taajama-alueiden ulkopuolelle. Sekä kuolemaan, että loukkaantumiseen johtaneet onnettomuudet ovat käsittäneet kuorma-auton lisäksi henkilöauton tai toisen kuorma-auton. Raskaan

liikenteen kuolemantapauksien määrä vastaa noin kolmannesta tieliikenneonnettomuuksissa kuolleista ja loukkaantumisten määrä noin yhdeksää prosenttia tieliikenteen onnettomuuksissa loukkaantuneista. Taajamien ulkopuoliset raskaan liikenteen aiheuttamat kuolemat olivat seurausta kohtaamisonnettomuuksista (2/3 kuolemista) ja loput samojen ajosuuntien onnettomuuksista. Loukkaantumisten syynä olivat samojen ajosuuntien onnettomuudet (1/3 onnettomuuksista) ja kohtaamisonnettomuudet (1/4 onnettomuuksista). Tilastoissa ei eritellä, mikä kuljetustyyppi oli kyseessä eli tilastoista ei käy ilmi raakapuun autokuljetuksien osuus raskaan maantieliikenteen onnettomuuksissa. Puutavara-autojen onnettomuuksista ei löytynyt tietoa, joten raskaan liikenteen (kuorma-auto, yli 3,5 t) onnettomuuksista joudutaan tekemään päätelmiä.

Löytyn (2014) mukaan onnettomuuksille riskialttiit kuljettajat löytyvät alle 25- ja yli 54-vuotiaista. Ammattikuljettajista alle 25-vuotiailla yleisin onnettomuuteen johtanut riskitekijä on ylinopeus. Vanhemmilla yli 54-vuotiailla huonontunut terveydentila on merkittävä onnettomuuteen johtanut riskitekijä. Kuljettajan nuori ikä nostaa riskiä kuolemaan johtaviin onnettomuuksiin. Nuoret 18–25 -vuotiaat ammattikuljettajat ovat hieman useammin pääaiheuttajina kuolemaan johtaneissa moottoriajoneuvo-onnettomuuksissa (27 %) kuin kaikki raskaan kaluston kuljettajat yhteensä (22 %). Kevyen liikenteen ja raskaan ajoneuvon välisissä onnettomuuksissa nuori ammattikuljettaja on pääaiheuttajana 33 % tapauksista, kun ammattikuljettajat yleensä 18 % tapauksista. Usein nuoren ammattikuljettajan taustalla on kokemattomuus, joka on perimmäinen onnettomuuteen ajava riskitekijä. Nuori-ikä ei itsessään lisää onnettomuusriskiä (Löytty 2014).

Raakapuun autokuljetusten sijoituessa pääosin taajamien ulkopuoliselle alueelle, voidaan onnettomuuksien, joissa puutavara-auto on ollut osallisena, olettaa olevan saman kaltaisia kuin yllä esitettyjen Liikenneturvan (2019) tilastojen kuorma-autojen onnettomuudet.

Tieliikenteen automatisaation on ajateltu poistavan inhimillisen virheen vaikutukset ja täten lisäävän liikenteen turvallisuutta, minkä takia automaatiota pyritään lisäämään tieliikenteessä jo turvallisuudenkin kannalta (Penttinen ym. 2019, Pöyskö ym. 2016, ERT-RAC 2012). Arvioiden mukaan SAE-tasojen 3 ja 4 tieliikenteen automaatio vähentäisi liikennekuolemia 40–80 % (Arola ja Antikainen 2017). Raskas liikenne, johon myös

raakapuukuljetukset kuuluvat, aiheuttaa onnettomuustilanteessa vaaraa kuljettajan lisäksi myös muulle liikenteelle. Vaikka automaatio vähentää tai poistaa kokonaan inhimillisten virheiden vaikutukset, voi automaatio tuoda tullessaan uudenlaisia vaaroja, sillä automaation toimivuutta kaikilla tietyyypeillä ja erilaisissa olosuhteissa ei voida taata (Penttinen ym. 2019). Automaattisten ajoneuvojen vähäisyydestä johtuen sekä niiden käytön rajoituksissa lähinnä testiympäristöihin, ei ole olemassa tilastotietoa tieliikenteen automaation vaikutuksista turvallisuuteen, vaan edellä esitetyt luvut ovat lähinnä asiantuntijoiden arvioita.

On myös otettava huomioon ajoneuvon kuljettajan automaation omaksuminen ja käyttö. Ei voida olettaa kaikkien kuljettajien käyttävän ainakaan täysimääräisesti kaikkia kuljettajan avustavia tukijärjestelmiä (Penttinen ym. 2019). Tällöin automaatiosta huolimatta kuljettajien väliset erot turvallisuudenkin suhteen ovat edelleen olemassa.

Turvallisuuden osalta raskas liikenne hyötyisi automaation hyödyistä merkittävästi, mikäli automaatiojärjestelmillä voitaisiin poistaa inhimillisen virheen vaikutusta ajamiseen (Nowakowski ym. 2015). Tällaisia inhimillisestä virheestä aiheutuvia vaaratilanteita raskaassa liikenteessä ovat Nowakowskin ym. (2015) mukaan mutkiin ajaminen liian suurella nopeudella, rattiin nukahtaminen sekä ajoneuvorikot. Mikäli automaatiolla voitaisiin välttää näiden vaaratilanteiden syntymistä, tarvittaisiin järjestelmän osalta automatisoitua nopeuden säätelyä tilanteen mukaan, kuljettajan vireystilan seuranta sekä automaattista hätäjarrutustoimintoa (Nowakowski ym. 2015).

Salosen (2019) mukaan suomalaiset ammattikuljettajat kokevat automaation tärkeinä ajamista ja työtehtäviä tukevinä toimintoina, joiden käytöstä kuljettaja pystyy itse päättämään. Suomalaiset ammattikuljettajat suhtautuvat varsin epäileväisesti itseajavien ajoneuvojen turvallisuushyötyihin, kuten onnettomuuksien vähentymiseen ja onnettomuuksien seurausten lieventymiseen. Enemmistö ammattikuljettajista voi jopa pitää automaattikan suorittamaa ajamista vaarallisempana kuin ihmisen suorittamana. Kaikista epäilevimmin automaation hyötyihin suhtautuvat raskaan liikenteen ammattikuljettajat (Penttinen ym. 2019) ja heistä erityisesti kuorma-auton kuljettajat (Salonen 2019). Asiantuntijoiden kohdalla suhtautuminen on yleensä positiivisempaa ja he painottavat automaation

hyödyistä turvallisuuden ja polttoainetalouden parantumista sekä vakuutusmaksujen pienentymistä (Penttinen ym. 2019).

Ammattikuljettajista suurin osa arvioi tulevaisuudessa raskaan liikenteen ajotehtävän jäävän kuljettajan vastuulle (Salonen 2019, Suomen kuljetus ja logistiikka SKAL ry. 2019a), sää- ja tieolosuhteiden estäessä automaattisen ajamisen (Salonen 2019). Salosen (2019) tutkimuksen mukaan suurin osa haastatelluista kuljettajista arvioi, ettei automaattiajaminen pysty korvaamaan kuljettajaa koskaan. SKAL:n kuljetusbarometrin 2019 mukaan autonomisten ajoneuvojen yleistyminen ei näytä todennäköiseltä, sillä vain 11 % barometrin vastaajista piti todennäköisenä skenaariota, että kuljettaja voisi tehdä työtään muualla kuin ajoneuvon ohjaamossa (Suomen kuljetus ja logistiikka SKAL ry. 2019a). 70 % vastaajista kokee kuljettajan perustehtävien pysyvän samana myös tulevaisuudessa. Kuljetusyrittäjät eivät nähneet automaation mahdollistavan ajonaikana tehtävän muuta työtä. Myöskään usean ajoneuvon samanaikaista ohjausta ei koettu mahdolliseksi (Suomen kuljetus ja logistiikka SKAL ry. 2019b). Täten automaatiolla ei nähty olevan vaikutusta kuljettajien työvoimatarpeeseen niin puutavaran autokuljetuksissa kuin muissakaan kuljetuksissa (Suomen kuljetus ja logistiikka SKAL ry. 2019b). Edellä mainitusta voi tulkita kuljetusyrittäjien suhtautuvan epäillen myös etäohjauksen- ja valvonnan tulevaisuuteen kuljetusalalla.

Kuljettajien arvion mukaan automaatiolla on vaikeaa täysin korvata ihmiskuljettajan panosta etenkin puutavara-, maansiirto ja polttoaineliikenteessä (Salonen 2019). Alempi tieverkko hankaline olosuhteineen, huonokuntoisine ja kaistaviivattomine teineen arveltiin mahdottomiksi ympäristöiksi robottiautolle (Salonen 2019). Puutavarakuljetuksien osalta autonomisilla ajoneuvoilla on kuljettajien ja kuljetusyrittäjien näkemyksen mukaan huonoimmat tulevaisuuden näkymät (Suomen kuljetus ja logistiikka SKAL ry. 2019a). Puutavarakuljetusten osalta vain 4 % vastaajista uskoi letka-ajon tuovan jokseenkin merkittäviä hyötyjä. Kukaan vastaajista ei uskonut letka-ajon tuovan erittäin merkittävää hyötyä puutavarakuljetuksissa (Suomen kuljetus ja logistiikka SKAL ry. 2019b). Esimerkkeinä olosuhteista, joiden arvellaan tuottavan suuria vaikeuksia automaattisille ajoneuvoille ovat alijäähtynyt ja intensiivinen vesisade, räntä- ja lumisade, teiden liukkaus, mäet, tulvat, sumu, tuuli, kelirikko-olosuhteet sekä vaihtelevat ja äärevät olosuhteet ylipäänsä (Salonen 2019). Myös poikkeavien liikennejärjestelyjen arvellaan tuottavan automaatiolle

ongelmia. Etenkin kuorma-autonkuljettajat arvioivat automaatiojärjestelmien kyvyn toimia avoimessa ympäristössä huonoksi (Salonen 2019).

Haastavaksi on koettu myös ihmisen ja automaation välinen vuorovaikutus. Ongelmaksi nähdään tilanteet, joissa kuljettajan täytyy nopeasti ottaa ajoneuvo haltuunsa, kun automatiikka ei pysty huolehtimaan ajoneuvon kontrolloinnista (Salonen 2019). Kuljettajan täyden valppauden ylläpito automaation hoitaessa ajamisen (SAE-taso 3) arvioidaan todella hankalaksi (Slowik ja Sharpe 2018). Suomalaisissa tutkimuksissa kuljettajat arvioivat automaation mukautumiskyvyn odottamattomiin tilanteisiin ja sääolosuhteisiin huonoksi (Salonen 2019, Penttinen ym. 2019). Myös automaatiojärjestelmien vikaherkkyyttä pidettiin uhkana (Penttinen ym. 2019). Suuria haasteita arveltiin syntyvän myös vuorovaikutuksessa muiden ei-automaattisten (kevyt liikenne, ei-automaattiset ajoneuvot) tienkäyttäjien kanssa (Penttinen ym. 2019). Myös ajoneuvojen hakkerointi on arveltu todelliseksi verkottuneisuuden mukana tulevaksi uhaksi digitalisoituvassa maailmassa (Penttinen ym. 2019).

Salosen (2019) tutkimuksessa todennäköisimpänä tieliikenteen automaation kehityssuuntana (65 % vastaajista) pidettiin ajamisen osittaista automatisointia, jolloin ajoneuvolla voidaan ajaa automaattisesti, mutta kuljettaja on vastuussa ajoneuvosta ja tällöin hänen on oltava jatkuvasti valmiina ottamaan ajoneuvo haltuunsa. Yksitoikkaisilla tieosuuksilla automaatio arvioitiin kuljettajien keskuudessa hyödylliseksi. Yleisesti ottaen kuitenkin automaation nähtiin jopa heikentävän kuljetusalan työn mielekkyyttä ja täten huonontavan alan kiinnostavuutta. Tutkimuksessa ajaminen itsessään ei ilmennyt rasittavaksi, vaan on jopa työn pidetyimpiä puolia (Salonen 2019). SKAL:n barometrissä autonomisten ajoneuvojen tärkein rooli nähtiin suljetuilla tiealueilla tieliikenteen ulkopuolella (74 % vastaajista) (Suomen kuljetus ja logistiikka SKAL ry. 2019b). Tärkeinä tosin koettiin myös tehtaiden, terminaalien ja satamien välinen autonominen liikenne (36 % vastaajista) sekä autonomiset runkokuljetukset pääteillä (28 % vastaajista), vaikka kyseisiin skenaarioihin uskoikin huomattavasti harvempi kuin autonomisten ajoneuvojen tärkeään rooliin suljetuilla tiealueilla tieliikenteen ulkopuolella. Letka-ajon tuomiin kuljetushyötyihin uskoi vain 6 % vastaajista, jotka olivat pääosin elintarvike- ja jakelukuljetusten suorittajia (Suomen kuljetus ja logistiikka SKAL ry. 2019a ja b).

5.2 Visiot automaatiolle ainespuun autokuljetuksissa

Tehokas puuhuolto 2025 -visiossa Metsäteho on määritellyt kustannus- ja raaka-ainetehokkaan puutavaralogistiikan puuhuollon tutkimus- ja kehitystyön yhdeksi neljästä päämäärästä (Niemelä ym. 2018). Sensoriteknologian, automaation ja robotiikan kehitys nähdään mahdollisuutena logistiikan kehittämiseksi. Uudella teknologialla pyritään parantamaan kaukokuljetusten energiatehokkuutta polttoaineenkulutusta pienentämällä, jolloin samalla vähennetään kaukokuljetusten ympäristövaikutuksia (Niemelä ym. 2018).

Nykyisin raakapuukuljetuksissa on käytössä kuljetussuunnittelujärjestelmiä, kuten Log-Force- ja Forest Hub -järjestelmät, joiden avulla raakapuulogiikan tiedonhallintaa on saatu parannettua (Jaatinen ja Nietola 2018). Metsäteollisuus painottaa keskeisenä kehittämiskohteena tiedonhallintaa ja erityisesti tiestötietojen merkitystä raakapuulogiikassa, sillä merkittävä osa kuljetusmatkoista kohdistuu valtion alemmalle tieverkolle ja yksityisille tieverkoille (Jaatinen ja Nietola 2018). Ominaisuustiedot etenkin alemmasta tieverkosta ovat puutteelliset, mikä aiheuttaa osaltaan raakapuun toimituksien kausivaihtelua. Kausivaihtelun aiheuttamat ylimääräiset kustannukset ovat yli 70 miljoonaa euroa vuosittain (Jaatinen ja Nietola 2018). Tiestötietojen jakamisen lainsäädännöllinen näkökulma on kuitenkin ensin selvitettävä sekä tiedon omistajat ja hallitsijat määritettävä (Jaatinen ja Nietola 2018).

Ajantasaisten tiestötietojen avulla on mahdollista suunnitella tehokkaat ja turvalliset raakapuukuljetukset (Metsäteollisuus ry. 2019). Metsäteollisuus mainitsee ilmastonmuutoksen ja tieliikenteen automaation edellyttävän tarkkaa tiestötietoa koskien myös alempaa tieverkkoa (Metsäteollisuus ry. 2019). Kuorma-autojen tiedonkeruulaitteet mahdollistavat joukkoistetun tiedonkeruun, jonka avulla kerättävä data mahdollistaa ajantasaiset, tarkat ja kattavat tiestötiedot myös alemmalta tieverkolta (Jaatinen ja Nietola 2018).

Valtioneuvoston periaatepäätös painottaa logistiikan älykkään automaation kehittämistä kuljetusten automatisoinnilla sekä letka-ajon (platooning) yleistymisen tärkeyttä (LVM015:00/2018). Periaatepäätöksessä on määritelty vuosille 2022 ja 2025 visiot logistiikan digitalisaatiolle ja tavoitteet sekä keinot tavoitteiden saavuttamiseksi (LVM015:00/2018). Metsäteollisuus kuitenkin korostaa logistiikan alan työvoiman

merkitystä myös tulevaisuudessa, sillä automatisoinnilla ei nähdä mahdollisena korvata ammattitaitoisia kuljettajia (Metsäteollisuus ry. 2019). Metsäteollisuus Ry uskoo paremman informaation ja puoliautomaation parantavan metsäteollisuuden logistiikan ekologisuutta sekä turvallisuutta (Metsäteollisuus ry. 2019).

6 TUTKIMUSONGELMA JA TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

6.1 Tutkimusongelma

Kansainvälisessä mittakaavassa teollisuuden ainespuun autokuljetus ei näyttele kovin kaan suurta roolia tieliikenteen automaation kehitystyössä. Hyvin harvoissa tieliikenteen tai raskaan liikenteen automaatiota käsittelevässä julkaisussa edes mainitaan ainespuukuljetuksia millään tavalla (esimerkiksi ERTRAC:n julkaisut). Pääpaino raskaan tieliikenteen automatisoinnissa on rahti- ja kappaletavaraliikenteessä. Rahti- ja kappaletavaraliikenne hyödyntää enimmäkseen ylempää tieverkkoa, jonka kunto on yleensä hyvällä tasolla. Raakapuun autokuljetusten automatisointi vaatii teknologialta enemmän, sillä merkittävä osa liikennöinnistä tapahtuu alemmalla tieverkolla ja metsäteillä, joiden kunto vaihtelee suuresti, mistä johtuen automaation nykytila ei puolla automaation toimintavarmuutta näissä olosuhteissa.

Kirjallisuuskatsauksen painottuessa laajemmin tieliikenteen automaatioon, pyritään tällä tutkimuksella kartoittamaan raakapuun ja sivutuotehakkeen autokuljetusketjujen automaation nykytilaa, kehitysnäkymiä, ongelmakohtia sekä hyötyjä ajoneuvon ja ajoneuvo-kohtaiseen puutavaranosturin tai hakkeenpurkulaitteistoon osalta Suomen olosuhteissa. Hyötyjen osalta pyritään kartoittamaan mitä hyötyjä on automaation avulla saavutettavissa ja miten merkittäviä ne ovat. Tarkka numeerinen hyötytarkastelu on jätetty pois tutkimuksesta osin jo sen vuoksi, ettei tulevaisuudessa tavoiteltavien hyötyjen tarkka numeerinen ilmaisu ole mahdollista. Energiapuun autokuljetusketjut on rajattu ulos tästä tutkimuksesta. Tutkimus rajautui pääosin tarkastelemaan ainespuun kuljetuksessa käytettäviä ajoneuvoja sekä niiden kuormainlaitteistoa. Varsinaiset terminaalilaitteistot on rajattu tästä tutkimuksesta ulos, joskin niistä mainitaan jonkin verran tutkimuksen tulosoissa, sillä haastatteluissa terminaalitoimintojen automaatiota tuli kuitenkin esille. Tästä

tutkimuksesta on rajattu ulos tarkempi teknologinen tarkastelu, kuten esimerkiksi sensorien teknologinen toteutus ja toiminta. Kehityssuuntia ja mahdollisia käytössä olevia automaatoratkaisuja tarkasteltiin kahdella eri aikajänteellä: seuraavien 3–5 ja yli 5 vuoden kuluttua.

Tutkimuksessa ainespuun autokuljetusketjujen automaation sijoittumista erilaisiin ympäristöihin tarkasteltiin tieliikenteen automaatiokirjallisuudessa käytetyn avoimiin ja suljettuihin alueisiin jaottelun mukaisesti (ks. Luku 3.4). Tarkastelussa raakapuun kuljetusketjun osalta ovat metsätie–tehdas, metsätie–terminaali, terminaali–tehdas sekä tuotantolaitosten väliset kuljetukset (Kuva 5). Sivutuotehakkeen osalta keskitytään tuotantolaitosten välisiin kuljetuksiin.

Tähän tutkimukseen ei sinänsä sisälly suuria hypoteeseja, koska tutkimuksessa ei pyritä todistamaan kirjallisuuden teorioita joko oikeiksi tai vääriksi. Tutkimuksen päätavoitteena on kerätä tietoa ainespuun autokuljetusten automaatiosta. Tutkimusmenetelmänä käytettyä teemahaastattelua käytetäänkin usein ollessa kiinnostuneita tutkittavan ilmiön perusluonteesta ja ominaisuuksista sekä hypoteesien löytämisestä kuin ennalta asetettujen hypoteesien todentamisesta (Hirsjärvi ja Hurme 1988 s. 41).

6.2 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tavoitteena tutkimuksessa on tuottaa tietoa teollisuuden ainespuun autokuljetusketjujen (raakapuu ja sivutuotehake) automaation kehitysnäkymistä ja automaatiolla kuljetuksessa tavoitelluista hyödyistä sekä mahdollisista automaation kohtaamista haasteista. Kuten myöhemmin aineisto- ja menetelmät -osiossa kuvataan, tulee tutkimusosa olemaan laadullinen teoriaohjaava tutkimus, joka ei pyri todistamaan kirjallisuuden teorioita oikeiksi tai vääriksi, vaan pyrkii luomaan uutta tietoa uudessa kontekstissa osin kirjallisuuden teorioihin pohjautuen. Kirjallisuuskatsauksessa esitettyjä teorioita on käytetty apuna myös tutkimuskysymysten laadinnassa.

Niin kirjallisuuskatsauksessa, kuin haastattelututkimuksessakin tutkimuskysymykset olivat seuraavat:

- Mikä on raakapuun ja sivutuotehakkeen autokuljetuskaluston automaation nykytila ajoneuvon ja puutavaranoisturin osalta?
- Minkälaiset ovat raakapuun ja sivutuotehakkeen autokuljetuskaluston (ajoneuvo ja puutavaranoisturi) automaation kehitysnäkymät seuraavan 3–5 vuoden ja yli 5 vuoden kuluttua? Mitkä automaation ratkaisut (eri tasoilta 0-5) vaikuttavat käyttöönoton kannalta todennäköisimmiltä puun autokuljetusketjuissa?
- Mitkä ovat puun autokuljetuksen automaation mahdollisuudet ja kehittämistarpeet ainespuun kuljetustoiminnan kannalta?
- Mitä hyötyjä automaatiolla uskotaan saavutettavan ainespuun autokuljetusketjuissa?

Automaation osalta kirjallisuuskatsaus kuitenkin keskittyy tieliikenteen sekä kappaleta-
varaliikenteen automaatioon, sillä kuten aiemmin mainittu, puun autokuljetuksen automaatiota käsittelevää kirjallisuutta ei juuri ole. Haastattelujen tavoitteena on tuottaa tietoa puun autokuljetusketjun automaatiosta, painottuen sen kehitysnäkymiin, hyötyihin sekä ongelmakohtiin. Tietoa on tarkoitus hyödyntää myöhemmin T&K -työssä sekä arvioitaessa eri tasojen automaation käyttöönottoa eri ympäristöissä. Tämä tutkimus tulee myös luomaan tarvetta yksityiskohtaisemmille jatkotutkimusaiheille, sillä tämä tutkimus on varsin laajasti asioita käsittelevä. Perimmäisenä tavoitteena on ikään kuin saattaa eri asiantuntijaryhmät pohtimaan samoja asioita ja kerätä tämä tieto talteen tiedon yhdistämistä eli synteesiä varten. Synteesin avulla voidaan muodostaa monipuolinen, kattava ja luotettava tietopohja puun autokuljetusketjun automaatiosta.

Tässä työssä rajaudutaan tarkastelemaan seuraavia jalostamattoman ainespuun autokuljetusketjuja (Kuva 5): raakapuun autokuljetusketju tienvarresta tehtaalle (yrityksen omaan käyttöön), vaihtopuun autokuljetusketju (yritysten väliset puukuljetukset) sekä sivutuotehakkeen kuljetusketju. Energiapuun autokuljetusketjut on rajattu työn ulkopuolelle. Voidaan siis puhua ainespuun autokuljetusketjuista. Jokainen kuljetusketju jakautuu luvussa 1.4 esitettyihin vaiheisiin seuraavasti: kuormaus, kuljetus ja purku (Kuva 5).

Kuten aiemmin mainittiin, näihin edellä mainittuihin vaiheisiin sisältyy paljon osatehtäviä, jotka yhdessä muodostavat kunkin vaiheen.

Enimmäkseen raakapuun autokuljetusketjussa puu ajetaan suoraan tievarsivarastolta tehtaal-
le. Jonkin verran puuta ajetaan myös autokuljetustermiinaalien kautta, jolloin metsästä
ajettu raakapuu välivarastoidaan puutermiinaaliin, josta puu ajetaan myöhemmin tehtaal-
le. Tällainen termiinaali-ajo on jonkin verran lisääntynyt viime aikoina ammattitaitoisten puu-
tavarauton kuljettajien työvoimapulasta johtuen (Kuljetuksenantaja B). Termiina-
li-ajo termiinaalien ja tehtaiden välille voidaan palkata helpommin kuljettajia, sillä kul-
jetus muistuttaa rahdin tai kappaletavaran kuljetusta metsätieolosuhteiden puuttuessa.
Metsäteiltä puutavaran hakevat edelleen puutavaran ajoon erikoistuneet kuljettajat, jotka
hallitsevat ajamisen metsäteillä sekä puutavaran kuormauksen.

7 AINEISTO JA MENETELMÄT

7.1 Tutkimusmenetelmä

Tässä tutkimustyössä yhdistettiin sekä kirjallisuuskatsaus että haastattelututkimus. Kir-
jallisuuskatsauksen tavoitteena oli luoda teoreettista pohjaa haastattelututkimukselle ja
auttaa täten haastattelutulosten sijoittamisessa teoreettiseen viitekehykseen. Kirjallisuus-
osiossa oli tarkoitus kuvata ainespuun autokuljetuksen toimintaympäristö, olosuhteet ja
kuljetuksen vaiheet sekä kuvata tieliikenteen automaatiota ja sen kehityskulkua. Kirjalli-
suuden valintaperusteena oli keskittyminen tieliikenteen (myös raskaan) automaatioon.
Toinen peruste oli, että kirjallisuudessa esitetyt asiat olisivat sovellettavissa Suomen olo-
suhteisiin. Aina ei ollut mahdollista löytää juuri Suomen olosuhteisiin suunnattua kirjal-
lisuutta, jolloin pohdin kirjallisuuden tietouden yleistettävyyttä Suomen olosuhteisiin kir-
jallisuusosiossa.

Haastattelututkimuksella on kuitenkin tässä tutkimuksessa suurin painoarvo, sillä kirjal-
lisuudesta ei löytynyt tietoa ainespuun autokuljetusketjun automaation osalta. Kirjallisuus-
den painottuessa yleisemmin tieliikenteen ja raskaan tieliikenteen automaatioon,

hankittiin haastatteluiden avulla tietoa ja näkemyksiä automaatiosta ainespuun autokuljetuksessa. Työn lopputuloksen osalta tutkimuksella tavoitellaan tietoa ainespuun autokuljetusketjun automaation hyödyistä, haasteista ja kehitysnäkymistä kirjallisuuden teoriaan perustuen. Kirjallisuuden merkitys tässä tutkimuksessa oli siis haastattelukysymysten laatimisen ja haastattelujen tulosten tulkinnan ohjaus teorian avulla.

Haastattelututkimuksessa käytin laadullisista tutkimusmenetelmistä teemahaastattelua, jonka teemat ja haastattelukysymykset perustuivat aiemmin esitettyihin tutkimusongelmiin. Laadullinen tutkimus eli kvalitatiivinen tutkimus on perimiltään ymmärtävää tutkimusta, jossa ilmiön syy-seuraussuhteiden selittämisen sijaan pyritään ymmärtämään itse ilmiötä (Tuomi ja Sarajärvi 2009, s. 28). Yleisimmin laadullisessa tutkimuksessa käytettäviä aineistonkeruumenetelmiä ovat haastattelu, kysely, havainnointi ja erilaisiin dokumentteihin perustuva tieto (Tuomi ja Sarajärvi 2009, s. 71). Menetelmiä voidaan käyttää vaihtoehtoisesti tai erilaisina yhdistelminä (Tuomi ja Sarajärvi 2009, s. 71).

Teemahaastattelu edustaa puolistrukturoitua haastattelumenetelmää (Hirsjärvi ja Hurme 1988 s. 35, Tuomi ja Sarajärvi 2009 s. 75). Keskeisinä menetelmässä ovat etukäteen valitut teemat sekä niihin liittyvät tarkentavat kysymykset, joiden avulla haastattelu etenee (Hirsjärvi ja Hurme 1988 s. 41). Kysymysten avulla pyritään nostamaan esille merkityksellisiä vastauksia tutkimuksen tarkoituksen ja ongelmanasettelun tai tutkimustehtävän mukaisesti. Teemat ja niihin pohjautuvat kysymykset perustuvat tutkittavasta asiasta valmiiksi tiedettyyn tietoon (Tuomi ja Sarajärvi 2009 s. 104).

Teemahaastattelussa käytetyt teemat pohjautuivat aiemmin esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Teemojen muodostamisessa kirjallisuus ohjasi vahvasti, eli teemat valittiin sen mukaisesti, mitä kirjallisuuskatsauksessa automaation osalta ilmeni. Osin ehdotuksia käsiteltävistä teemoista olin saanut ohjaajaltani, sekä Metsäteho Oy:n sidosryhmiltä kuljetuspälavereissa. Haastattelussa käsiteltyjä teemoja olivat:

- Ajoneuvon ja puutavaranosturin automaation nykytila
- Automaation kehitysnäkymät ajoneuvon ja puutavaranosturin osalta
- Automaation haasteet ja mahdollisuudet puun autokuljetusketjussa
- Automaatiolla tavoiteltavat hyödyt puun autokuljetusketjussa

Teemojen varaan rakennettiin myös haastattelukysymykset (ks. LIITE 1), joiden avulla teemoja tarkennettiin haastattelutilanteessa haastateltavalle ymmärrettäviksi. Teemahaastattelu soveltuu käytettäväksi, kun kyseessä ovat esimerkiksi heikosti tiedostetut asiat tai sellaiset tutkittavat asiat, joista haastateltavat eivät välttämättä ole tottuneet puhumaan päivittäin sekä arvostukset, aikomukset ja perustelut (Hirsjärvi ja Hurme 1988 s. 35). Oletin ainespuun autokuljetuksen automaation kuuluvan juuri edellä mainittuihin, ainakin osan haastateltavien kohdalla, joten menetelmänä teemahaastattelun arvioin soveltuvan hyvin tutkimukseen. Menetelmän avulla on myös mahdollista tuoda tutkittavien eli haastateltavien ääni kuuluviin (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 48). Teemahaastattelu menetelmänä huomioi sen, että ihmisten tekemät tulkinnat asioista sekä heidän niille antamansa merkitykset ovat keskeisiä (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 48). Menetelmä huomioi myös sen tosiasian, että merkityksiä syntyy vuorovaikutuksessa (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 48). Haastatteluilla pyritään keräämään aineisto, jonka avulla voidaan luotettavasti muodostaa tutkittavasta ilmiöstä päätelmiä (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 66). Teemahaastattelussa voidaan joko esittää kysymykset kaikille haastateltaville täsmälleen samassa järjestyksessä tai järjestystä voidaan vaihtaa (Hirsjärvi ja Hurme 1988 s. 36). Kysymysjärjestyksen vaihto on perusteltua esimerkiksi keskustelun kulun kannalta, mikäli järjestyksessä seuraavaan kysymykseen siirtyminen ei osoittaudu luontevalta ratkaisulta haastattelun kulun ja sisällön kannalta.

Haastattelu valikoitui käytettäväksi menetelmäksi, sillä sen avulla on mahdollista saada selville vaikeasti mitattavia asioita sekä asiantuntijoiden näkemyksiä. Tuomi ja Sarajärvi (2009, s. 73) mainitsevat haastattelun merkittävimmäksi eduksi sen joustavuuden. Haastattelussa on mahdollista käydä keskustelua tiedonantajan kanssa, toistaa kysymyksiä sekä selventää kysyttäviä asioita ja avata tarvittaessa haastatteluun liittyvää terminologiaa. Kysymysten esittämisjärjestystä ei ole sidottu, vaan haastattelun aikana kysymysjärjestyksestä voidaan poiketa, mikäli se katsotaan aiheelliseksi esimerkiksi haastattelun kulun kannalta (Tuomi ja Sarajärvi 2009, s. 73). Haastattelun etuna on myös vaivaton asioiden ilmaisu, sillä toisin kuin kirjallisessa tiedonannossa, haastattelussa ei tarvitse miettiä kirjallisen ilmaisun vaatimia asioita, kuten selkeää ja yksiselitteistä ilmaisua. Haastattelussa haastateltava voi täten keskittyä asian ilmaisuun tarvittaessa hyvinkin monisanaisesti.

Tutkimuksen aiheen ja tavoitellun sisällön kannalta arvioin teemahaastattelun soveltuvan parhaiten syvän ja monipuolisen tiedon sekä asiantuntijoiden näkemysten hankintaan. Arvioin myös teemahaastattelun avulla mahdollisena selvittää asioiden välisiä yhteyksiä. Haastattelussa haastateltavalla on mahdollisuus selittää ja perustella näkemyksiään omin sanoin, toisin kuin esimerkiksi strukturoidussa lomakekyselyssä, jossa vastausvaihtoehtojen määräkin on rajattu. Teemahaastattelu menetelmänä ei niin helposti rajaa haastateltavan vastauksia. Haastattelun avulla näin mahdolliseksi myös kysyä kysyttäviä asioita eri sanamuodoin, mikäli haastateltava ei syystä tai toisesta ymmärtänyt kysymystä. Toisaalta strukturoitu lomake mahdollistaisi laajan otannan vuoksi helpomman yleistettävyyden, mutta menetelmällä hankittu tieto jäisi hyvin pinnalliseksi ja monesti jopa vaille perusteluita. Epäilin myös vastaajien motivaatiota lomakkeiden täyttämiseen, sillä aiempien kokemuksieni mukaan monikin vastaaja täyttää lomakkeet paneutumatta syvemmin käsiteltävään asiaan. Tällöin tulosten luotettavuus saattaisi kärsiä, eivätkä tulokset välttämättä edustaisi tutkimusjoukon todellisia näkemyksiä.

Pyrin suorittamaan haastattelut mahdollisuuksien mukaan käyttäen henkilökohtaista haastattelua toteutustapana. Tällöin itse haastatteluun saadaan liitettyä osallistuva havainnointi, jonka keinoin pystyy tulkitsemaan haastateltavan non-verbaalisia ilmaisuja sekä asioita, joita haastateltava ei nosta esille. Haastattelut olivat osallistuvia haastatteluja, joissa tutkija on aktiivisesti sosiaalisessa vuorovaikutustilanteessa tiedonantajien kanssa (Tuomi ja Sarajärvi 2009, s. 82). Tutkijan on kuitenkin pyrittävä olemaan liikaa vaikuttamatta haastatteluun ja sen etenemiseen (Tuomi ja Sarajärvi 2009, s. 82). Puhelin- tai Skype -haastattelua käytin tapauksissa, joissa haastateltavan paikan päällä haastattelu ei onnistunut esimerkiksi pitkän maantieteellisen etäisyyden vuoksi.

Tässä tutkimuksessa hyödynnetty aineisto on kerätty syksyn 2019 aikana haastattelemalla luottamuksellisesti (anonymiteetti) 18 asiantuntijaa, jotka edustavat erilaisia suhteita ainespuun autokuljetuksen automaatioon. Pyrkimyksenä oli mahdollisimman monipuolinen aineisto eri asiantuntijaryhmien näkökulmasta. Itse tutkijana olin kiinnostunut aiheesta, sillä puun autokuljetukset kohtaavat monia haasteita tänä päivänä, kuten rapautuvan tieverkon, kuljettajapulan ja korkeat tehokkuusvaatimukset.

7.2 Haastateltavat ja otos

Haastatteluun voidaan valita henkilöt, joilla on kokemusta ja tietoa tutkittavasta aiheesta (Tuomi ja Sarajärvi 2009, s. 74). Teemahaastattelua käytettäessä otoksen koko on yleensä melko pieni, sillä kvalitatiivisen tutkimusmenetelmän ei ole tarkoitus tuottaa laajasti yleistettävää tietoa, vaan syvää tietoa ja ymmärrystä teemoihin liittyen (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 59). Tässä tutkimuksessa kerätään kuitenkin tietoa, joka on tarkoitus yleistää ainespuun autokuljetusten automaatio -teemaan. Otokseen pyrittiin valitsemaan siksi laaja asiantuntemuspohja ja riittävästi haastateltavia, jotta tuloksia voisi yleistää. Toisaalta aihe on rajattu koskemaan vain ainespuun autokuljetuksia Suomessa, eikä esimerkiksi tieliikenteen automaatiota, jolloin yleistys tehdään melko rajattuun aiheeseen, jolloin varsin vähäinen määrä haastateltavia riittää. Tärkeintä otoksen osalta ovat asiantuntemus ja syvä tietämys aiheesta. Muut aineiston kokoa määrittävät tekijät ovat menetelmän työläys ja resurssien rajallisuus (Tuomi ja Sarajärvi 2009 s. 85). Haastattelututkimuksen järjestäminen sitoo paljon resursseja, niin henkilöitä, aikaa ja rahaa (Tuomi ja Sarajärvi 2009, s. 74).

Haastatteluotokseen valittiin asiantuntijoita, joiden oletettiin omaavan omalta alaltaan parhaan asiantuntemuksen tieliikenteen automaation, ainespuun autokuljetuksen sekä raskaiden hyötyajoneuvojen ja ajoneuvonostureiden automaation osalta (Taulukko 7). Osan haastateltujen asiantuntemus kattoi useita edellä mainittuja osioita, kun puolestaan osa haastateltavista edusti spesifiä ja syvää asiantuntemusta, esimerkkinä ajoneuvo- ja puutavarano- sturivalmistajat sekä tutkijat. Kyseessä on niin kutsuttu *eliittiotanta*, jossa otos sisältää alan asiantuntijoita, joilla oletetaan olevan tutkimuksen kannalta parhaiten tietoa saatavilla sekä kyky tuoda tämä tieto esille haastatteluissa (Tuomi ja Sarajärvi 2009, s. 86). Eliittiotannalla tarkoin valittujen asiantuntijoiden voidaan myös olettaa olevan motivoituneita haastatteluun ja aiheeseen, mikä osaltaan parantaa tulosten luotettavuutta ja yleistettävyyttä. Otos muodostettiin Metsäteho Oy:n kanssa yhteistyössä osin heidän tuntemistaan, mutta osin kirjallisuudessa esiintyneistä asiantuntijoista sekä haastateltavien asiantuntijoiden suositusten perusteella.

Tarkoituksena oli muodostaa mahdollisimman monipuolinen haastatteluotanta (Taulukko 7) ja täten eri näkökulmia edustavat lausunnot. Haastateltavat asiantuntijat ryhmiteltiin sen mukaan, minkälainen rooli heillä on ainespuun autokuljetusketjun ja automaation suhteen. Haastatelluista kuljetusyrittäjistä suurin osa oli raakapuun autokuljetukseen erikoistuneita. Yksi kuljetusyrittäjä edusti sivuotehakkeen autokuljetusta.

Haastateltuja asiantuntijaryhmiä olivat:

- Kuljetuksen antajat
- Kuljetusyrittäjät
- Kalustovalmistajat: Kuormain- ja ajoneuvovalmistajat
- Tutkijat (tieliikenteen ja ajamisen automaatio)
- Liikenneviranomaiset

Haastateltavat asiantuntijaryhmät edustivat kukin erilaista suhdetta automaatioon ainespuun autokuljetuksessa, jolloin erilaiset näkemykset tulivat ilmi haastatteluissa. Kullekin asiantuntijaryhmälle muotoiltiin hieman omanlaiset haastattelukysymykset (ks. LIITE 1), joilla kumminkin haettiin samaa asiaa.

Liikenneviranomaishaastatteluun valikoitui lopulta vain yksi haastateltava, sillä toisen haastateltavan kanssa haastatteluaikaa ei saatu sovittua aikataulusyiden vuoksi. Toisaalta tutkijoiden, kalustovalmistajien sekä viranomaisen haastatteluissa kävi ilmi, ettei lainsäädännössä ole vielä kovin erityisiä näkemyksiä automaation kehityksen suhteen, vaan viranomaiset ja lainsäätäjät pyrkivät seuraamaan automaatioteknologian kehitystä ja sopeuttamaan lainsäädäntöä sen mukaan. Viranomaisen näkemyksen edustavuutta puoltaa myös se, että tieliikenteen automaatiokysymykset ovat liikenneviranomaishaastateltavan erityistä asiantuntija-alaa.

Taulukko 7. Tutkimusta varten haastatellut henkilöt asiantuntijaryhmittäin. Haastateltavat B1 ja B2 edustivat samaa yritystä. Haastateltujen asiantuntijoiden tittelit on jätetty pois, jottei sen perusteella voisi tunnistaa haastatellun henkilöllisyyttä.

| Koodi | Asiantuntijaryhmä | Organisaatiotyyppi | Toteutus | Ajankohta | Kesto (h) |
|-------|----------------------|-------------------------|--------------------|------------|-----------|
| A | Kuljetuksen antaja | Metsäteollisuus | Haastattelu | 24.9.2019 | 1:23 |
| B | Kuljetuksen antaja | Metsäteollisuus | Haastattelu | 26.9.2019 | 1:27 |
| C | Kuljetuksen antaja | Metsäteollisuus | Haastattelu | 1.10.2019 | 1:19 |
| D | Kuljetuksen antaja | Metsäteollisuus | Haastattelu | 8.10.2019 | 1:12 |
| E | Kuljetuksen antaja | Metsäteollisuus | Skype-haastattelu | 16.10.2019 | 1:31 |
| A | Kuljetusyrittäjä | Puun autokuljetusyritys | Haastattelu | 22.10.2019 | 1:49 |
| B | Kuljetusyrittäjä | Puun autokuljetusyritys | Haastattelu | 19.11.2019 | 1:07 |
| C | Kuljetusyrittäjä | Puun autokuljetusyritys | Puhelinhaastattelu | 25.11.2019 | 1:38 |
| D | Kuljetusyrittäjä | Puun autokuljetusyritys | Puhelinhaastattelu | 28.11.2019 | 1:00 |
| A | Kuormainvalmistaja | Kalustovalmistaja | Skype-haastattelu | 20.11.2019 | 1:35 |
| B1 | Kuormainvalmistaja | Kalustovalmistaja | Skype-haastattelu | 26.11.2019 | 1:00 |
| B2 | Kuormainvalmistaja | Kalustovalmistaja | Skype-haastattelu | 13.12.2019 | 0:41 |
| A | Ajoneuvovalmistaja | Kalustovalmistaja | Haastattelu | 26.11.2019 | 1:03 |
| B | Ajoneuvovalmistaja | Kalustovalmistaja | Haastattelu | 16.12.2019 | 1:18 |
| A | Tutkija | Tutkimuslaitos | Skype-haastattelu | 10.12.2019 | 1:40 |
| B | Tutkija | Yliopisto | Skype-haastattelu | 11.12.2019 | 1:47 |
| C | Tutkija | Tutkimuslaitos | Skype-haastattelu | 13.12.2019 | 1:40 |
| A | Liikenneviranomainen | Valtion virasto | Skype-haastattelu | 11.12.2019 | 0:56 |

7.3 Haastattelujen toteutus

Haastattelukutsut lähetin sähköpostitse haastateltaville henkilökohtaisesti, jottei haastateltavat saaneet tietää toisten haastateltavien henkilöllisyyttä. Haastattelukutsussa selvitin lyhyesti haastattelun tarkoituksen ja haastattelun luottamuksellisuuden. Haastatteluun osallistuvien anonymiteetillä pyrin välttämään esimerkiksi toisten haastateltavien vaikutusta muiden haastateltavien mielipiteisiin. Edellä mainitulla tarkoitan sitä, että esimerkiksi haastateltava voisi mahdollisesti muodostaa näkemyksensä tahallaan eroavaksi toisen haastatellun oletetusta näkemyksestä. Tällöin haastattelutuloksiin syntyy harhaa, joka vääristää tuloksia. Haastattelujen toteutusajankohdat sovin puhelimitse ja samalla lyhyesti selostin haastattelumenetelmän, käsiteltävät teemat sekä haastateltavan tietosuojan. Kysyin myös lupaa haastattelujen nauhoittamiseen litterointia ja analysointia varten. Jokainen haastateltava suostui haastattelun nauhoitukseen.

Tiedostin aiheen olevan haastava osalle haastateltavista, sillä haastattelun sisältö rakentui merkittävältä osin tieliikenteen automaation tasoluokitteluun ja sen termeihin, joihin paneutuminen ei tapahdu hetkessä. Ajamisen automaatiosta oletin parhaimman

ennakkotietämyksen löytyvän kalustovalmistajilta, viranomaisilta, sekä ajamisen automaation tutkijoilta. Haastattelun onnistumisen takaamiseksi lähetin haastateltaville lyhyen alustuksen aiheeseen sisältäen SAE:n automaation tasoluokituksen sekä haastattelukysymykset (Liite 1) ennakolta, jotta heillä oli ennalta mahdollisuus tutustua kysymyksiin ja paneutua haastattelun teemoihin. Tällä menettelyllä pyrin välttämään tilanteita, joissa haastattelutilanteessa haastateltava kokee kysymysten tulevan liian äkkiä, jolloin vastaukset voivat olla varsin niukkoja tai eivät tosiasiaassa edusta haastateltavan omaa näkemystä. Tuomen ja Sarajärven (2009, s. 73) mukaan ennakkotiedottaminen on myös tutkimuseettisesti perusteltua, sillä tiedottamisella taataan haastateltavan tietoisuus siitä, mihin hän suostuu. Tiedottamisella ja avoimuudella parannetaan mahdollisuuksia saada henkilö suostumaan haastateltavaksi, sillä monikaan ei suostu haastateltavaksi tietämättä, mistä on kyse.

Haastattelun onnistumisella tarkoitan haastateltavan valmiutta vastata kysymyksiin oman asiantuntemuksensa ja näkemyksensä mukaan, valmiutta tuoda esille mahdollisesti jotain sellaista, jota haastattelijä ei itse tullut ajatelleeksi kysymyksiä laatiessaan sekä kykyä kysyä ja kyseenalaistaa kysyttyjä asioita. Onnistuneen haastattelun yhtenä tavoitteena pidin vuoropuhelun syntymistä.

Haastattelut suoritin yksilöhaastatteluina yhtä parihaastattelua lukuun ottamatta, joko henkilökohtaisesti, puhelimitse tai Skypen avulla (Taulukko 7). Ajallisesti haastattelut sijoittuivat 24.09.–16.12.2019 välille. Haastattelut nauhoitin litterointia varten. Haastatteluja varten pyrin varaamaan aikaa tunnista kahteen tuntiin. Pyrkimyksenä oli kaksi tuntia haastattelu-aikaa, mutta haastateltavien aikataulusyistä se ei kaikkien haastateltavien kohdalla ollut mahdollista. Pyrin aikaansaamaan rennon haastatteluilmapiirin, jotta haastateltava toisi näkemyksensä ja tietonsa mahdollisimman hyvin esille, minkä oletin tapahtuvan parhaiten levollisessa ja vapautuneessa ilmapiirissä. Mikäli aikaa oli, pyrin ennen haastatteluja käymään keskustelua puun autokuljetuksesta ja sen haasteista, jotta vältettäisiin menemästä aiheeseen liian nopeasti. Tarkoituksena oli ikään kuin pohjustaa haastattelua yleisellä keskustelulla aihepiiristä. Koin tästä menetelmästä olevan hyötyä eritoten tilanteissa, joissa haastateltava vaikutti alun perin vähäsanaiselta ja ehkä varautuneelta. Myös tutkijoiden ja viranomaisten haastatteluiden yhteydessä käytin aluksi aikaa

puun autokuljetuksen toimintaympäristön kuvailemiseen, jotta heilläkin olisi mahdollisimman selkeä kuva toimintaympäristöstä.

Haastateltavan sekä haastattelijan vuorovaikutuksen näin onnistuneena, sillä ilmapiiri oli varsin vapautunut ja vuoropuhelu haastateltavien kanssa sujui mielestäni hyvin. Etähaastatteluissa koin vuoropuhelun aluksi vaikeana non-verbaalisten viestien puuttumisen vuoksi. Etenkin puheenvuorojen jakaminen toista näkemättä osoittautui toisinaan haastavaksi. Etähaastattelutkin alkoivat sujua paremmin ensimmäisen puhelinhaastattelun jälkeen.

7.4 Haastatteluaineiston analysointi

Laadullisessa tutkimuksessa tulkinta sijoittuu koko tutkimusprosessin ajalle, toisin kuin määrällisessä tutkimuksessa ja tulkinta alkaakin usein jo itse haastatteluvaiheesta (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 152). Haastattelujen analysointia tapahtui osittain jo haastattelun aikana, jolloin laitoin merkille esimerkiksi haastateltavan mainitsemia asioita, jotka joko erosivat tai yhtenivät aikaisempien haastattelujen suhteen. Pääosin analysointi tapahtui kuitenkin litteroidun aineiston pohjalta. Nauhoittamani haastattelut pyrin litteroimaan mahdollisimman nopeasti haastattelun jälkeen ja pääosin sanatarkan ilmaisan säilyttäen, jotta asian ja näkemyksen säilyttäminen oli mahdollista. Välillä tiivistäminen oli pakollista, mikäli haastateltava pyöritteli asiaa ja sanoja menemättä heti asiaan. Haastateltavat yleensä joutuvat miettimään sanomaansa, jolloin virkkeet ja lauseet eivät etene aina johdonmukaisesti.

Haastattelujen litteroinnin tein haastattelukohtaisesti, jottei haastattelun kokonaisuus ja dialogi pirstoudu. Haastattelujen yhteydessä havaitsin kysymysten ja teema-alueiden välillä olevan vahvoja sidoksia toisiinsa haastateltavan puheessa eli haasteltavat ilmaisivat eri tavoin yhden teema-alueen yhteydessä myös muita teema-alueita. Esimerkiksi turvallisuus mainittiin sekä automaation haasteeksi, että automaatiolla tavoiteltavaksi hyödyksi, jolloin teema-alueista hyödyt sekä haasteet olivat linkittyneitä. Osin haastateltavat saattoivat vastata yhdessä kysymyksessä samalla kertaa useampaan kysymykseen. Näin kävi, mikäli ensin kysytyllä kysymyksellä oli vahva sidos myöhempiin kysymyksiin ja niiden aihealueisiin. Näin tärkeänä säilyttää alkuperäisen haastattelutilanteen rakenteen,

josta oli myöhemmin mahdollista jäsentää teema-aluekohtaisia havaintoja. Sen jälkeen jokaisesta haastattelusta irrotettiin jokaista teema-aluetta vastaavat vastaukset omille teema-aluekohtaisille ”korteilleen”.

Varsinaista analyysivaihetta varten kokosin ensin kaikkien haastateltujen asiantuntijoiden jokaista teema-aluetta koskevat lausunnot kokonaisuuden tarkastelua varten asiantuntijaryhmittäin. Lopuksi yhdistin eri asiantuntijaryhmien tulokset kokonaisuudeksi. Laadullisen haastatteluaineiston käsittely sisältää sekä analyysiä, että synteisiä (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 143–144). Analysointivaiheessa eritellään ja luokitellaan kerättyä aineistoa (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 143–144). Synteesissä puolestaan luodaan kokonaiskuvaa aineiston pohjalta ja jopa esitetään tutkittava ilmiö uudessa perspektiivissä (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 143–144). Sekä analyysissä että synteesissä hyödynsin kirjallisuuden teoreettista viitekehystä apuna puun autokuljetusten automaation näkemysten sovittamisessa tieliikenteen automaatiossa käytettyyn teoriaan ja luokitteluun, jotta tulokset voidaan yhteismitallistaa ja luokitella ymmärrettävään muotoon. Luokittelusta esimerkkinä on SAE-tasoluokitus, jolla eri tasoinen automaatio on selkeästi hahmotettavissa.

Päädyin käyttämään teoriaohjaavaa sisällönanalyysiä haastatteluaineiston analyysimenetelmänä, sillä tässä tutkimuksessa ei ollut tarkoituksena testata kirjallisuudessa esitettyjä teorioita, vaan käyttää kirjallisuutta pohjana uuden tiedon luomisessa. Menetelmässä on Tuomen ja Sarajärven (2009 s. 96) mukaan teoreettisia kytkentöjä, mutta ne eivät suoraan pohjautu teoriaan tai teoria voi toimia apuna analyysin etenemisessä. Analyysistä on havaittavissa aiemman tiedon vaikutus, mutta aikaisemmalla tiedolla ei ole teoriaa testaava merkitys, vaan uusia ajatuspolkuja avaava merkitys (Tuomi ja Sarajärvi 2009 s. 97).

Tulosten esittelyssä käydään läpi 18 teemahaastattelun tuloksia. Osin haastateltavien pyynnöstä, osin tutkijan itsensä näkemyksen vuoksi, suoria lainauksia ei käytetä. Suorien lainausten käytön en myöskään kokenut tuovan erityistä lisäarvoa tutkimukseen. Osiossa käydään läpi ainespuun autokuljetus- ja nosturikaluston automaation nykytilaa, kehitysnäkymiä, automaation kohtaamia haasteita, sekä automaatiolla tavoiteltavia hyötyjä ainespuun autokuljetuksessa. Haastatteluissa ei kartoitettu automaation numeerisia kustannuksia, sillä huomattava osa käsitellyistä automaatoratkaisuista on vielä kehitysasteella, eikä kaupallistettu, jolloin hankinta- ja ylläpitokulutietoja ei ole saatavilla.

7.5 Laatu ja luotettavuus

Laadullisen tutkimuksen luotettavuuden arviointiin ei ole yksiselitteisiä ohjeita (Tuomi ja Sarajärvi 2009 s. 140). Laadullisen tutkimuksen laadun ja luotettavuuden takaaminen lähtee aineiston keruusta. Haastatteluaineiston laatua voidaan tavoitella hyvän haastattelurungon avulla. Rungon osalta teemojen syventäminen esimerkiksi ennalta mietittyjen lisäkysymysten avulla on eduksi haastattelun laadulle (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 184). On kuitenkin otettava myös huomioon itse haastattelutilanteessa syntyvät lisäkysymykset, joihin on vaikea varautua ennalta (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 184).

Haastattelussa käytetyt käsitteet pyrin valitsemaan siten, että ne kuvaavat mahdollisimman hyvin tutkittavaa ilmiötä (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 187) eli tutkimuksen *rakennevalidius* pyrittiin takaamaan sekä itse kysymyksissä kuin elävässä haastattelutilanteessa. Haastateltavan ja haastattelijan välinen ymmärrys on mahdollista, kun haastattelussa käytetyt käsitteet avataan ja selitetään (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 187). Käsitteiden oikein ymmärrys on haastattelujen onnistumisen ja aineiston luotettavuuden tae, joten käsitteiden avaaminen haastattelutilanteessa oli tarvittaessa tehtävä, jotta haastateltava ymmärtää, mitä teemoilla ja kysymyksillä tavoitellaan.

Haastattelututkimuksen pyrkimyksenä on kuvata tutkittavien käsityksiä ja heidän maailmaansa niin hyvin kuin mahdollista (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 189). On kuitenkin tiedostettava tutkijan vaikutus kerättävään tietoon jo tietojen keruuvaiheessa (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 189), tässä tapauksessa haastatteluista alkaen. Kyse on kuitenkin tutkijan itsensä tulkinnoista ja käsitteistöstä, joihin tutkija pyrkii sovittamaan tutkittavien käsityksiä, joten myös tämän takia rakennevalidius on keskeinen validiuden muoto (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 189).

Vaikka laadullisessa analyysissä aineiston koko ei ole itsetarkoitus, on suurehkosta ja monipuolisesta aineistosta etua tutkittavan ilmiön monipuolisen tarkastelun ja analyysin osalta (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 188). Haastateltavaksi valittiin (18 kpl.) henkilöitä, jotka edustavat erilaisia suhteita automaatioon ainespuun autokuljetuksessa. Näin toimimalla pyrittiin saamaan monipuolinen kuva eri näkökulmista, jotta tutkittava ilmiö tulee

monipuolisesti käsiteltyä. Erityyppistä suhdetta ainespuun autokuljetusten automaatioon edustavien ihmisten haastatteluilla pyrittiin myös eliminoimaan harhaa syntymästä aineistoon. Kustakin haastateltavasta ryhmästä valittiin riittävä otos haastateltavia, joiden oletettiin kuvaavan kussakin ryhmässä vallitsevaa yleistä näkemystä. Täten pyrin turvaamaan tutkimustulosten *ulkoisen validiuden* eli yleistettävyyden tutkittavien henkilöiden ulkopuolelle (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 188). Yleistys kohdistuu kuitenkin asiantuntijaryhmiin, joita tässä tutkimuksessa haastateltiin (Taulukko 7).

Eräs keino tavoitella laadullisen tutkimuksen validiteettia on *triangulaatio*, joka voidaan nähdä toimintasuunnitelmana, ”jonka avulla tutkija kykenee ylittämään henkilökohtaiset ennakkoluulonsa, koska triangulaatiossa hän ei voi sitoutua vain yhteen näkökulmaan” (Denzin (1978) viitattu Tuomi ja Sarajärvi 2009 s. 143). Triangulaatio on erilaisten metodien, tutkijoiden, tiedonlähteiden tai teorioiden yhdistämistä tutkimuksessa (Tuomi ja Sarajärvi 2009 s. 143). On kuitenkin ymmärrettävä, ettei kyseinen metodi ole ongelmaton tutkimuksen metodologian ja luotettavuuden määrittelyn kannalta (Tuomi ja Sarajärvi 2009 s. 143).

Tässä tutkimuksessa aineiston validoinnissa käytetty triangulaation päätyyppi on tutkimusaineistoon liittyvä triangulaatio. Tässä päätyypissä triangulaatio kohdistuu tiedon kohteeseen, eli tutkittavaan (Tuomi ja Sarajärvi 2009 s. 144). Tietoa kerätään monelta eri tiedonantajaryhmältä, jotta tutkittava asia tulee kartoitettua syvällisesti ja monelta eri henkilöltä (Tuomi ja Sarajärvi 2009 s. 144). Saavutettaessa tietynlainen yksimielisyys haastattelun teemojen suhteen, voidaan tulkita haastateltavan henkilön antaman tiedon, käsityksen tai tulkinnan asiasta saaneen vahvistusta (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 189). Vaikka tietynlaiseen yksimielisyyteen pyritäänkin, on kuitenkin otettava huomioon erot haastateltavien antamissa tiedoissa ja tulkinnoissa, eikä pyrittävä peittämään niitä (Hirsjärvi ja Hurme 2009 s. 189). Kuten Hirsjärvi ja Hurme (2009 s. 198) toteavat, ihmisten käsitykset todella vaihtelevat samastakin kohteesta melko lyhyenkin ajan kuluessa.

Ongelmana tutkimuksessa tutkimusaineistoon liittyvän triangulaation käytössä oli se, ettei kaikilla haastateltavilla ryhmillä ollut selkeää näkemystä tai tietämystä aivan kaikista kysytyistä teemoista. Tämä johtui pitkälti haastateltavan asiantuntemuksen spesifisyydestä. Esimerkiksi ajamisen automaation tutkijat, liikenneviranomaiset ja

ajoneuvovalmistajat painottivat ajamisen automaatiota ja toivatkin selkeästi haastatte-
luissa esille, ettei heillä ole juuri tietämystä puutavaranoisturien automaatiosta. Puutava-
ranosturivalmistajat puolestaan painottivat nosturiautomaatiota ajamisautomaation si-
jaan. Osin erikoistietämys oli tarkoitus, mutta osin tiedon spesifisyys hankaloitti yleis-
tettävyyttä, muttei kuitenkaan estänyt sitä. Toisaalta haastateltavan erikoistietämys toi ai-
neistolle luotettavuutta sekä tarkkaa ja syvällistä tietoa.

8 HAASTATTELUIDEN TULOKSET

8.1 Tulosten taustaa

Tutkijoita ja viranomaisia haastateltaessa ilmeni, että liikenteen automaation SAE-tasoi-
hin (Taulukko 1) luokittelu on lähinnä viranomaistyöhön tarkoitettu selvennys ajamisen
automaation kattavuudesta. Luokittelu on tutkimus- ja kehitystyön kannalta jäykkä. Aja-
misen automaatiojärjestelmän ominaisuuksien ja toimivuuden määrittelyssä lähdetään
ensisijaisesti liikkeelle ODD-ympäristöstä tai ympäristöistä, joissa automaatiojärjestelmä
tulee toimimaan sekä automaatiolle asetetuista tavoitteista.

Toinen ongelma SAE-tasoissa liittyy ajoneuvojen automaation jäykkään lokerointiin.
Tutkijat A ja C mainitsivat, että samassa ajoneuvossa voi olla eri SAE-tasojen automaa-
tiota edustavia järjestelmiä, joista jokaisella on erilainen ODD. Esimerkkinä ajoneuvo,
jossa on tasojen 0, 2 ja 4 automaatiota.

Tutkijat A ja C sekä liikenneviranomainen A myönsivät SAE-tasoluokituksen olevan kui-
tenkin hyvä työkalu ajamisen automaation jaotteluun ja selkeään esitykseen, jotta auto-
maation kattavuus sekä ihmisen ja automaatiojärjestelmien roolien väliset suhteet voi-
daan jollain tasolla hahmottaa. Tutkijoilta sain tukea luokituksen käytölle tutkimukses-
sani etenkin, kun haastattelututkimukseen osallistui myös niitä, keille automaatio ja sen
luokittelu ei ennalta ollut kovin tuttua. Ainespuun autokuljetuksen automaation luokittelu
pelkästään ODD-ympäristöjen avulla olisi vaikeasti hahmotettavissa etenkin, kun puun
autokuljetuksessa ODD-ympäristöjä saattaa olla hyvin monia.

8.2 Ainespuun autokuljetusketjun automaation nykytila

8.2.1 Ainespuun kuljetuskalusto: ajoneuvo

Raakapuun ja sivutuotehakkeen kuljetukseen käytettävä ajoneuvokalusto edustaa pääosin SAE-tasoa 0 ja 1 (Taulukko 8). Käytössä oleva vanhempi kalusto edustaa lähinnä SAE-tasoa 0, kun puolestaan nykyaikainen puutavara-auto edustaa automatiikaltaan kuljettajaa avustavaa SAE-tasoa 1. Uusimmat markkinoilla olevat raskaat ajoneuvot edustavat jo tasoa 2, mikäli ajoneuvossa on käytössä mukautuva vakionopeudensäädin (ACC) sekä kaistavahti, joka ohjaa ajoneuvoa pysymään omalla kaistallaan. Kuitenkaan kaikki kuljettajat eivät käytä ajamisen automaatiojärjestelmiä, jolloin SAE-tason 1 automaatiota sisältävää ajoneuvoa voidaan käyttää tason 0 mukaisesti. Käytössä olevia kuljettajaa tukevia järjestelmiä ovat muun muassa mukautuva vakionopeudensäädin, kaistavahti ja automaattinen hätäjarrutusjärjestelmä. Järjestelmät ovat osin vakiona uusissa ajoneuvoissa, osin valinnaisia lisävarusteita. Erityisesti kaistavahtien mainittiin jäävän usein hankkimatta uutta ajoneuvokalustoa ostettaessa. Automaation nykytila on pitkälti painottunut maantieajamiseen, eikä kuljettajaa avustavia järjestelmiä ole suunniteltu käytettäväksi metsä- ja so-rateilla. Tämä on osittainen seuraus siitä, että kuorma-autovalmistajien vuosittain tuotetuista ajoneuvoista suurin osa tulee käytettäväksi pääosin maantieolosuhteisiin. Puun ajoon tarkoitetut raskaat kuorma-autot näyttelevät ajoneuvovalmistajien tuotannossa varsin marginaalista osaa.

Taulukko 8. Puun kuljetuksessa käytettävien ajoneuvojen sekä puutavaranoisturien automaation nykytila.

| Taso | Määritelmä | Puutavara-auto/Hakeauto | | Puutavaranoisturi | |
|------|-----------------------|-------------------------|--|-------------------|--------------------------------------|
| | | Käyttöönoton tila | Esimerkkejä | Käyttöönoton tila | Esimerkkejä |
| 0 | Ei automaatiota | Käytössä | Automatisoitu vaihteisto, ABS-jarrut | Käytössä | Sähkö- ja mekaanishydraulinen ohjaus |
| 1 | Kuljettajan tuki | Käytössä | Kaistavahti tai älykäs vakionopeudensäädin | Ei käytössä | Kärkiohjaus |
| 2 | Osittainen automaatio | Osin käytössä | Kaistavahti ja älykäs vakionopeudensäädin | Ei käytössä | Osasyklien automaatio |
| 3 | Ehdollinen automaatio | Ei käytössä | Maantieavustin | Ei käytössä | - |
| 4 | Korkea automaatio | Ei käytössä | Maantiepilotti | Ei käytössä | - |
| 5 | Täysi automaatio | Ei käytössä | Täysin autonominen ajoneuvo | Ei käytössä | Täysin autonominen puutavaranoisturi |

Nykyään monen kuorma-autovalmistajan tarjoama mukautuva vakionopeudensäädin on älykäs ja ainespuun autokuljetuskalustossa niitä onkin jo runsaasti käytössä (ks. kappale 4.2). Älykkään vakionopeudensäätimen yhdessä automatisoitujen vaihteistojen kanssa mainittiin vähentävän kuljettajien välisiä eroja polttoaineenkulutuksessa sekä parantavan myös kokeneiden kuljettajien polttoainetaloutta, sillä älykäs järjestelmä ei ns. väsy, vaan toimii aina optimaalisesti. Älykästä vakionopeudensäädintä voidaan käyttää vain maantieolosuhteissa, sillä metsäteillä topografian ja nopeuksien muutokset ovat liian haastavia automatiikalle ajettaessa suurilla massoilla. Metsäteillä ei ole myöskään mahdollista ajaa vakionopeudella olosuhteiden vaihdellessa. Kuljetuksenantajat, kuljetusyrittäjät sekä ajoneuvovalmistajat yhdessä tuumin totesivat parhaankin kuljettajan väsyvän melko nopeasti taloudellisen ajotavan ylläpitämisessä, jolloin kuljetuksen polttoainetalous heikkenee ilman avustavaa automatiikkaa.

Automatisoitujen vaihteistojen (AMT) (Taulukko 8) yleistyminen on ollut suuri kehitysskaskel niin puutavara- ja hakeautojen kuin muidenkin raskaiden ajoneuvojen kehitysskaskussa. Haastatelluista kuljetusyrittäjistä kaikilla olivat joko kaikki ajoneuvot tai lähes kaikki ajoneuvot varustettu automatisoidulla vaihteistolla. Tehokkaimmilla moottoreilla varustettuja puutavara-autoja ei yleensä enää edes varusteta manuaalivaihteistolla, poikkeuksena Sisun raskaat ajoneuvot. Automatisoidut vaihteistot alkoivat yleistyä merkittävästi viimeisen viiden vuoden aikana, jolloin vaihteiston automatisointi oli kehittynyt tasolle, jossa se toimii myös puukuljetusten haastavassa toimintaympäristössä.

Automaattiset vaihteistot edistyneisyydestään huolimatta toimivat optimaalisesti lähinnä maantieolosuhteissa, jossa ne ovat vähentäneet kuljettajien kuormittuneisuutta ja keskittymistä vaihteiden vaihtoon, jolloin kuljettajalle jää enemmän kapasiteettia keskittyä ajoympäristön seurantaan. Metsätieolosuhteissa automatisoitua vaihteistoa joudutaan ope-roimaan manuaalisesti valitsemalla kulloinkin käytettävä vaihde, sillä järjestelmä on kykenemätön havaitsemaan ja ennakoimaan tien topografiaa ja pitoa. Automatisoidun vaihteiston mainittiin kuljetusyrittäjien haastatteluissa tekevän eritoten mäkisillä ja mutkaisilla metsäteillä vaihtoja turhaan sekä mahdollisesti vaihtavan liian suurelle vaihteelle kiihdytettäessä mäen nousua varten, jolloin pahimmillaan yhdistelmäajoneuvo jää kiinni mäkeen.

Automatisoitujen vaihteistojen mainittiin myös vähentäneen kuljettajan vaikutusta voimansiirron rikkoutumiseen, sillä automatisoitu vaihteisto ei anna kuljettajan tehdä vaihtoja voimansiirron kannalta haitallisesti, minkä merkitys korostuu etenkin kokonaismassojen ja moottoritehojen kasvettua. Konkreettisesti korjaustarpeen vähentyminen on näkynyt vaihteisto- ja kytkinremonttien vähentymisenä.

Nykyiset kuljettajaa tukevat SAE-tason 1 järjestelmät herättivät myös huolen yrittäjien keskuudessa kuljettajan keskittymiskyvyn säilymisestä ajon aikana. Kuljetusyrittäjä A mainitsi vaarana olevan sen, että avustavat järjestelmät tekevät ajamisesta liian mukavaa eli virikkeitä on liian vähän, jolloin kuljettajan valppaus kärsii ja kuljettaja ei enää tarpeeksi kiinnitä huomiota ajamiseen. Hänen näkemyksensä mukaan erityisesti kuljettajan väsyessä tämä riski kasvaa automaation huolehtiessa tai avustaessa esimerkiksi kaistalla pysymisessä, jolloin kuljettaja mahdollisesti siirtää ajoneuvon hallintaa liiaksi automatiikan varaan. Kuljetusyrittäjä A:n mukaan monessa isommassa puunkuljetusyrityksessä on ohjeena kytkeä kaistavahti pois päältä, mikäli kuljettajaa alkaa väsyttää. Tällä pyritään lisäämään kuljettajan aktiivisuutta, millä voidaan ehkäistä kuljettajan nukahtamista. Kaistavahdit eivät kuitenkaan toimi ilman kaistaviivoja, joten niiden käyttö rajautuu vain kaistaviivallisille teille. Kaistavahdit eivät myöskään toimi talviolosuhteissa lumen ja kuran peittäessä kaistaviivat.

Raakapuun autokuljetuksessa on jonkin verran käytössä rengaspaineiden säätöjärjestelmällä (CTI) varustettuja puutavara-autoja, joissa rengaspaineita voidaan säätää tiestön kantavuuden mukaan. Kuljettaja säätää rengaspaineet perustuen ajoneuvon massaan, nopeuteen ja tieluokkaan. CTI-järjestelmä nostaa automaattisesti rengaspaineita, mikäli kuljettaja ajaa liian alhaisilla rengaspaineilla liian suurta nopeutta, välttääkseen renkaiden rikkoutumista.

Puutavara- ja hakeautojen pitoaika on keskimäärin 5–7 vuotta. Lyhyt pitoaika on seurausta kaluston korkeasta käyttöasteesta, sillä puutavara-autoja ajetaan tavallisesti kahdessa vuorossa, jolloin ajokilometrejä puutavara-autoon voi kertyä vuodessa noin 200 000 km. Nopean ajoneuvokierron takia puutavara-ajoneuvojen automaatiotaso pysyy varsin ajanmukaisena. Automaatiojärjestelmät ovat jo nykytasolla parantaneet ajoneuvon turvallisuus ja polttoainetaloudellisia ominaisuuksia.

8.2.2 Puutavara-ajoneuvon puutavaranosturi ja sivutuotehakkeen lastauskalusto

Ajoneuvokohtaiset puutavaranosturit ovat joko ohjaushyillä varustettuja tai avonaisia. Käytössä olevat puutavaranosturit eivät sisällä kuormaimen hallintaan liittyvää automaatiota eli ne edustavat automaatiotasoa 0 (Taulukko 3, Taulukko 8). Puutavaran punnitusjärjestelmässä eli kuormainvääntäjän toiminnassa sen sijaan automatiikkaa on jonkin verran. Puomin ja kouran liikkeitä hallitaan pääosin mekaanishydraulisilla kaksi- tai nelivipuohjatuilla hallintalaitteilla, joissa säätövivun liike välitetään mekaanisesti hydrauliventtiileihin säätämään hydrauliohjauksen virtausta. Jonkin verran ovat yleistyneet myös sähköohjattut kuormaimet. Niissä hallintalaitteena toimivat ”Joy Stickit”, joilla hydrauliventtiilien toimintaa ohjataan sähköisesti. Puutavaranosturivalmistajien mukaan meneillään on murrosvaihe, jossa siirrytään yhä enenevässä määrin sähköhydraulisesti ohjattuihin kuormaimiin.

Mekaanishydraulisten kaksi- ja nelivipuohjattujen puutavaranosturien suosion syynä on osin niiden toimintavarmuus. Kuljetusyrittäjä C mainitsi talvella pölyävän tiesuolan raskastavan sähköisiä laitteita todella paljon, mikä osaltaan on saanut yrittäjät suosimaan edelleen mekaanisesti ohjattuja nostureita. Kuljetusyrittäjä B puolestaan oli kyllästynyt jatkuviin ongelmiin sähköohjattujen kuormainten kanssa ja on siksi siirtynyt takaisin mekaanishydraulisiin puutavaranostureihin.

Toisin kuin autokuljetuspuolella, metsäkoneissa sähköohjattut kuormaimet ovat olleet valtavirtaa jo vuosikymmenten ajan. Syyksi mekaanisessa ohjauksessa pitäytymiselle puun autokuljetuksissa arveltiin myös nosturin käyttöasteen erilaisuutta metsä- ja kaukokuljetuksissa, sillä metsäkoneissa nosturin käyttö käsittää pääosan työajasta. Autokuljetuksessa kuormaimen käyttö muodostaa yleensä vain varsin pienen osan työajasta. Keskimäärin puutavara-auton kuljettaja suorittaa puutavaranosturilla 2–3 kuormausta työvuoronsa aikana. Pienen käyttöasteen vuoksi sähköhydraulisen puutavaranosturin hyödyt on koettu varsin pieniksi, etenkin niiden hankintahinnan ollessa mekaanishydraulista nosturia kalliimpi. Toki on otettava huomioon kuljettajat, jotka toimivat lyhyillä toimitusetaisyyksillä tuotantolaitoksista, jolloin nosturin käytön osuus työajasta saattaa olla suurempi.

Suomessa on käytössä muutamia puutavaranostureita, joita ohjataan nosturissa olevan hytin sijasta puutavara-auton ohjaamosta VR-lasien ja ”Joy Stickien” avulla apukuljettajan paikalta, johon hallintalaitteet on sijoitettu (ks. Hiab 2020). Teknologia itsessään sijoittuu automaatiotasolle 0. VR-laseihin tuodaan nosturissa olevista useista kameroista kuvaa lastausympäristöstä. VR-lasien avulla kuljettajan näkökenttä on lähes sama kuin nosturin hytissä ja näkökenttä muuttuu kuljettajan kääntäessä päätänsä. Hyötyinä ovat ohjaamon tarjoama lämmin ja turvallinen työympäristö sekä nosturin hytin jäädessä pois, suurempi hyötykuorma. Kyseinen teknologia ei ole vielä saavuttanut suurta suosiota, sillä kuljetusyrittäjien mukaan VR-laseilla operointi on hankalampaa kuin nosturin hytistä. Kuvan laadun ja siirtonopeuden ollessa vielä riittämättömällä tasolla, voi operoinnista seurata kuljettajalle päänsärkyä ja pahoinvointia kuvan tullessa jäljessä ja laadun ollessa rakeinen. Myös se, että VR-laseja käytettäessä näkökenttä ei vastaa tasapainoistimusta, aiheuttaa joillekin pahoinvointia. Ajoneuvon ohjaamosta nosturia ohjattaessa puuttuu myös tuntuma ja äänimaailma nosturiin eli niin sanottu ”penkkituntuma”, mikä yrittäjien mukaan on oleellinen osa tehokasta työskentelyä. Kuljetuksenantaja C arveli kyseisen kuormausteknologian hitaan kehityksen syyksi teknologian epävarmuuden huolto- ja toimintavarmuuden kannalta. Kuljetuksenantaja B arveli kyseisen kuormausmenetelmän käytön olevan kuitenkin tottumiskysymys.

Vaikka terminaalitoimintojen osuus tässä työssä oli pienemmässä roolissa, nousi silti esille haastatteluissa niihin liittyvää automaatiota. Sivutuotehakkeen terminaaleissa lastaus- ja purkutoiminnoissa käytettävissä pyöräkuormaajissa on käytössä erilaisia pikatoimintoja, joilla voidaan toistaa tiettyä toistuvaa kauhan liikettä. Raakapuun kuormanpurkulaitteiston osalta ei ilmennyt, että niiden toimintoja olisi automatisoitu. Pyöräkuormaajissa on vaaka, jolla voidaan punnita jokainen lastattava hakekuorma auton kantavuuden mukaan. Itse vaaka on joiltakin osin automatisoitu. Sivutuotehaketta kuormataan joko hakeauton yläpuolella olevasta siilosta pudottamalla tai pyöräkuormaajalla kauhan avulla. Sivutuotehakkeen purku tapahtuu joko ketjupurkamisella tai kävelevällä lattialla ajoneuvoyhdistelmän perästä tai sivukaataamalla hake hakekonteista konttien sivuilta.

Vaikkei kuljetuksenohjausjärjestelmät olekaan tämän tutkimuksen keskiössä, nousivat ne monissa haastatteluissa esille. Kuljetuksenantajat painottivat kuljetuksenohjausjärjestelmien, esimerkkinä LogForce, merkitystä autokuljetuskaluston tehokkaan käytön mahdollistajana. Kuljetuksenohjausjärjestelmät mahdollistavat siis kaluston tehokkaan käytön, mutta itse kuormakohtaisen kuljetuksen tehokkuuteen ja taloudellisuuteen voidaan vaikuttaa pitkälti ajoneuvon ominaisuuksien avulla.

8.3 Ainespuun autokuljetuskaluston automaation kehitysnäkymät

8.3.1 *Automaation kehitysnäkymät seuraavien 3–5 vuoden aikana*

Ajoneuvo- ja kuormainvalmistajien, tutkijoiden ja liikenneviranomaisen keskuudessa raakapuun autokuljetusta pidettiin aivan ääriesimerkkinä ajamisen ja kuormausnosturin automatisoinnista, sillä raakapuun autokuljetuksen olosuhteet ovat kuljetusaloista kaikkein vaikeimmat. Seuraavien 3–5 vuoden kuluessa suurimmat kehitysaskeleet puun autokuljetusketjun automaation osalta tullaan ottamaan suljetuilla alueilla raakapuun ja sivutuotehakkeen tehdasvastaanotoissa sekä isommissa väliterminaaleissa (Taulukko 9). Suljettujen alueiden automaatio tulee keskittymään toistuviin yksinkertaisiin toimintoihin, kuten esimerkiksi integraattitehtailla sivutuotehakkeen siirtoon sahalta sellutehtaaltehdasalueen sisäisesti automatisoidulla hakeautolla. Avoimilla tiealueilla kehitys tulee olemaan maltillisempaa ja keskittyy lähinnä hyväkuntoisille moottoriteille ja hyviin ajo-olosuhteisiin. Täten alempi tieverkko sekä metsä- ja soratiet rajautuvat todennäköisesti ainakin korkeamman tason automaatiokehityksen ulkopuolelle ainakin lähitulevaisuudessa.

Helpoiten lähitulevaisuudessa automaatiolla saavutettaviksi hyödyiksi arvioitiin työn keventyminen, turvallisuuden parantuminen sekä tuottavuuden ja polttoainetalouden kuljetajakohtaisten erojen pienentyminen.

Taulukko 9. Kunkin haastatellun asiantuntijaryhmän näkemys käytössä olevasta automaatiotasosta puutavara- ja hakeajoneuvon ja puutavaranostrukin (kuormain) osalta seuraavan 3–5 vuoden kuluessa. Ajoneuvoille sovelletaan SAE-tasoluokitusta (Taulukko 1) ja puutavaranostrukureille tässä työssä luotua puutavaranostrukin automaation tasoluokitusta (Taulukko 3).

| | 3-5 vuotta | | |
|----------------------|----------------|-------------|---------------------|
| | Ajoneuvo | | Puutavaranostrukuri |
| | Tiestö | Terminaalit | |
| Asiantuntijaryhmä | Automaatiotaso | | |
| Kuljetuksenantajat | 1-2 | 3 | 1 |
| Kuljetusyrittäjät | 1 | 3 | 1 |
| Ajoneuvovalmistajat | 1-2 | 4 | - |
| Kuormainvalmistajat | - | - | 1 |
| Tutkijat | 1-2 | 4-5 | - |
| Liikenneviranomaisen | 1-3 | 4-5 | - |

Haastatteluissa näkemykset metsätieverkoston jaottelusta avoimen ja suljetun alueen välillä vaihtelivat, sillä osa haastatelluista katsoi metsäteiden olevan avoimia ja osa suljettuja alueita. Suurin osa haastatelluista kuitenkin arvioi metsätiet joko avoimiksi tai puolisuljetuiksi ympäristöiksi. Tutkijat kuitenkin painottivat metsäteiltä puuttuvan suljettujen alueiden kaltaiset ominaisuudet, kuten hallitut olosuhteet ja muun liikenteen rajoittamisen. He arvioivat myös metsäteiden olosuhteiden mutkaisine ja mäkisine teineen sekä vaihtelevine kantavuus- ja talviolosuhteineen olevan liian haastavia automaatiolla hallittaviksi. Tutkijat näkivät automaation kannalta metsäteillä ongelmallisena jo yhdenkin muun tienkäyttäjän ilmaantumisen paikalle. Kaikki ennalta arvaamaton todettiin liian suureksi haasteeksi automaattiselle ajamiselle. Kuljetustenantaja B mainitsi, ettei julkista rahoitusta saanut yksityistietä voi välttämättä sulkea puomein ja täten estää muiden tienkäyttäjien pääsyn tiealueelle. He, jotka kokivat metsäteiden olevan suljetun kaltaisia puolisuljettuja alueita, näkivät metsäteiden alhaisten ajonopeuksien sekä satunnaisten vastaantulijoiden aiheuttavan paljon vähemmän haasteita automaatiojärjestelmien toiminnalle kuin maanteiden lukuisat muut tienkäyttäjät ja suuremmat ajonopeudet.

Seuraavan 3–5 vuoden aikana avoimen ympäristön automaatiokehityksen nähtiin painottuvan maanteille hyviin olosuhteisiin ja etenkin moottoriteille, sillä Euroopan hyötyajoneuvojen massamarkkinat sijaitsevat Keski-Euroopassa, jossa toimitaan Suomen tieolosuhteisiin verrattuna pääosin maanteillä ja ilman haastavia talviolosuhteita. Avointen alueiden automaatiokehitys arvioitiin maltillisiksi verrattuna suljettuihin alueisiin, johtuen

muuttujien moninaisuudesta, suuremmista ajonopeuksista sekä kontrolloimattomasta ympäristöstä. Automaatiokehityksessä edetään turvallisuus edellä, jolloin automaatiojärjestelmien turvallinen toiminta pitää pystyä takaamaan myös avoimissa ympäristöissä, mikäli niitä aiotaan siellä käyttää. Tällä hetkellä automaatioteknologialla on suuria haasteita muun muassa ajamisen ja ympäristön havainnoinnin ennakoimisessa, joten avoimille alueille soveltuvan automaation kehitys ja käyttöönotto vie aikaa.

Aikavälillä 3–5 vuotta SAE-tason 1 kuljettajaa tukevasta automaatiosta muodostuu puutavara- ja hakeautojen uusi vakioratkaisu. Tason 1 järjestelmät eivät enää ole erikseen hankittavia lisävarusteita, vaan niitä tullaan asentamaan suoraan markkinoille valmistettaviin hyötyajoneuvoihin. Tason 1 järjestelmien ODD tulee laajenemaan käytettäväksi myös haastavammissa olosuhteissa sekä huonokuntoisemmilla teillä. SAE-tason 2 osittainen automaatio tulee käyttöön puutavara-autoissa ja soveltuu lähinnä moottoriteille hyvissä olosuhteissa käytettäväksi (Taulukko 9). Teoriassa SAE-taso 3 nähtiin mahdollisena käytettäväksi avoimessa ympäristössä, mutta ongelmat turvallisuuden ja vastuiden määrittelyssä tulevat todennäköisesti jättämään kyseisen tason väliin automaatiokehityksessä. Tästä syystä ajoneuvovalmistajat panostavat SAE-tasojen 4–5 automaation kehitykseen. Tasojen 4 ja 5 sovellukset tulevat ensimmäiseksi käytettäväksi suljetuille alueille.

Raskaissa kuorma-autoissa tulee olemaan useiden eri SAE-tasojen automaatiojärjestelmiä, joilla kullakin on erilainen ODD. Tällä hetkellä esimerkiksi SAE-tason 1 automaatiojärjestelmiä sisältävää puun autokuljetuskalustoa käytetään perinteisen ajoneuvon tapaan automatiikka pois kytkettynä, etenkin metsäteillä, sillä esimerkiksi älykäs vakionopeudensäädin ei toimi kunnolla metsä- ja soratieolosuhteissa. Tulevaisuudessa puutavara-autosta voi löytyä laajasti tasojen 0–2 automaatiota, joista kunkin tason järjestelmällä on oma suunniteltu toiminta- ja käyttöympäristö: 0-taso metsä- ja sorateilla, 1-taso alemmalla ja ylemmällä tieverkolla ja taso 2 vain ylemmällä tieverkolla (lähinnä moottoriteillä). Edellä kuvatun kaltaisia ajoneuvoja ei voida tiukasti lokeroida yhteen SAE-tasoon.

Verkottuneisuus ajoneuvojen välillä (V2V), ajoneuvojen ja infrastruktuurin (V2I) sekä ajoneuvojen ja kuljetuksenohjausjärjestelmien välillä (V2X) koettiin tärkeänä tehokkaan puun autokuljetustoiminnan kannalta. Verkottuneisuuden osalta tärkeänä koettiin myös

olosuhdetietojen kuten tieolosuhdetiedon jakaminen ajoneuvoihin. Aluksi tiedolla tuettaisiin kuljettajan päätöksentekoa, mutta automaatiokehityksen edetessä myöhemmin suoraan järjestelmien päätöksentekoa. Erityisesti kuljetuksenantajat ja kuljetusyrittäjät näkivät tärkeänä kuljettajan tukemisen informaation avulla, mikä itsessään ei ole suoraan ajamisen automaatiota, joten kyseiset ratkaisut edustavat SAE-tasoa 0. Päätöksentekoa tukevan informaation osalta tarpeellisina koettiin reaaliaikaisen tiestötiedon (liukkaus, kunnossapitotilanne, kantavuus...) puutavara-ajoneuvoilla toteutettava joukkoistettu tiedonkeruu sekä kerätyn tiedon välittäminen kuljettajille ajon aikana. Myös tienpitäjän tulisi olla mukana tässä verkottuneisuudessa, jotta kunnossapito- ja korjaustoimenpiteet osataan kohdentaa oikein ja tienpitäjällä säilyy ajantasainen tuntuma tienhoidon tilasta. Erityisesti kuljetusyrittäjät näkivät tienpitäjän olevan liian usein tietämätön tiestön kunnossapidon tilasta, etenkin talviaikana.

Suljetuilla alueilla lastaus- ja purkutoiminnoissa on automaation suurin potentiaali lyhyellä aikavälillä. Nopeimmaksi automaatiokehitys arvioitiin suljetuilla tehdas- ja terminaalialueilla lastaus- ja purkutoiminnoissa ja ajoneuvon ajamisessa. Suljetuilla alueilla automatisoituja toimintoja voidaan ottaa nopeammin käyttöön, sillä esimerkiksi automaatiohäiriö on helpommin kontrolloitavissa suljetuilla kuin avoimilla alueilla. Suljetuilla alueilla koko toiminta on keskeytettävissä automaatiohäiriön ajaksi, mikä puolestaan avoimilla teillä ajamisessa ei ole mahdollista, sillä ajoneuvon automaatiohäiriön vuoksi koko liikennettä ei voida pysäyttää. Purkutoiminnoissa standardoitujen ja hallittavien olosuhdeiden sekä toimintojen toistuvuuden ja yksinkertaisuuden vuoksi suljetuilla alueilla automaatiolla saavutettavat hyödyt ovat myös helpoiten saavutettavissa. Yrittäjien toiminnan kannalta purkutoimintojen automatisoinnin nähtiin tuottavan eniten hyötyjä autokuljetustoiminnan tehokkuudelle purkutoimintojen sujuvoituessa.

Puutavara-auton ajamisen osalta suljetuilla puutermiinali- ja tehdasalueilla mahdollisena pidettiin etävalvottua SAE-tasojen 3–5 automaatiota (Taulukko 9), jolloin kuljettaja voisi levätä purku- tai lastaustoimintojen aikana tai tehdä muuta työtä. Myös purkukoneiden eli materiaalinkäsittelykoneiden ja kurottajatruckien osalta SAE-tasot 4–5 nähtiin todellisina etävalvonnan avulla. Etävalvonnan ansiosta yksi etävalvoja pystyisi hallitsemaan useaa ajoneuvoa tai konetta samanaikaisesti. Tarkastellulla aikavälillä suljetuilla alueilla automaatiota otetaan käyttöön aluksi varsin hitaalla tahdilla, eikä alkuvaiheen suurta

yleistymisaaltoa ole nähtävissä. Syinä hitaalle yleistymiselle ovat muun muassa automaation näyttöjen vähäisyys, jolloin automaattisten toimintojen toimivuutta testataan ensin pienimuotoisesti kokemusta keräten, sekä järjestelmien kalliiksi arvioitu hankintakustannus.

Hitainta puolestaan kehityksen nähtiin olevan puutavara-auton nosturin automatisoinnissa metsätieolosuhteissa. Pyöreän puutavaran käsitleminen on huomattavasti vaikeampaa kuin standardien kappaleiden, kuten merikonttien, johtuen puutavarakouran kouraisutaakan sisältämisestä läpimitoiltaan ja pituuksiltaan erilaisista puutavarapölkyistä. Täten ajoneuvon puutavaranosturin automaatiokehitys arvioitiin hitaaksi ja se tuleeekin keskittymään ensiksi tasoa 1 edustavan kärkiohjauksen (Taulukko 3) kehitykseen ja ajoneuvon ohjaamosta VR-lasiteknologialla hallittavan nosturin hallintateknologiaan (taso 0). Kyseisiä sovelluksia arvioitiin nähtävän laajalti käytössä tarkastellulla aikavälillä.

Puutavaranostureiden osasykliä automatisointi, kuten taakan automaattinen nostaminen kuormatilaan kouraisun jälkeen, nähtiin mahdolliseksi ainakin teknologian osalta. Pyöreän puutavaran lastaustyön korkea tuottavuusvaatimus kuitenkin hidastaa osasykliä automatisointia, sillä kuormaustehtävien suorittamisen siirron automaation ja kuljettajan välillä ei koettu olevan saumatonta, vaan tehtävien siirron aikana arveltiin syntyvän pysähdyksiä, jotka vaikuttavat negatiivisesti tuottavuuteen. Täten kuljettajan rooli toimintojen suorittajana säilyy, eli taso 1 tulee olemaan aikavälin puutavaranostureiden automaatiotasoa.

Kuormaus- ja purkutoimintoja automatisoitaessa pitää puutavaranosturivalmistajien mukaan tarkastella kuormaus- ja purkutoimintojen automaation tuottavuusparannusta koko kuljetusketjun kannalta, eikä pelkästään kuormaus- ja purkutoimintojen osalta. Yhden toiminnon tehokkuustarkastelu voi johtaa koko ketjun kannalta osaoptimointiin. Kokonaistehokkuuden saavuttamisesta seuraa tarve yhteistyölle kuorma-auto, puutavaranosturi- ja automaatiojärjestelmävalmistajien kesken, jotta koko kuljetustoiminnan kannalta kustannustehokkaat ratkaisut saataisiin aikaiseksi.

8.3.2 Automaation kehitysnäkymät yli 5 vuoden kuluttua

Pidemmälle tulevaisuuteen katsottaessa haastateltujen asiantuntijoiden näkemykset ajamisen automaation kehitysnäkymistä eivät olleet kovin selkeitä. Pidemmän aikavälin ai-nespuun autokuljetusketjun automaatiokehityksen ennustaminen osoittautui haastavaksi. Haastatteluista kuitenkin ilmeni, että jollakin aikavälillä yli viiden vuoden kuluttua SAE-tasojen 3–4 automaatio (Taulukko 10) on mahdollista toteuttaa turvallisesti myös avoimissa ympäristöissä lähinnä hyväkuntoisilla maanteilla ja hyvissä ajo-olosuhteissa ihmisen valvonnan alaisuudessa sivutuotehakkeen ja raakapuun kuljetuksen vakioireiteillä terminaalien ja tehtaiden välillä. Myös alempien tasojen, kuten SAE-tason 2 automaatiojärjestelmien ODD:n arvioitiin laajenevan entisestään, jolloin jossakin vaiheessa kuljettajan valvonnan alla tapahtuvaa automaattista ajamista mahdollisesti voitaisiin laajentaa metsä- ja sorateillekin.

Taulukko 10. Asiantuntijaryhmien näkemys käytössä olevasta automaatiotasosta ajoneuvon ja puutavarano-
sturin osalta yli 5 vuoden kuluttua. Ajoneuvoille sovelletaan SAE-tasoluokitusta (Taulukko 1) ja puu-
tavarano-
stureille tässä työssä luotua puutavarano-
sturin automaation tasoluokitusta (Taulukko 3).

| | Yli 5 vuotta | | |
|-------------------------------|----------------|-------------|-----------------------|
| | Ajoneuvo | | Puutavarano- sturi |
| | Tiestö | Terminaalit | |
| Asiantuntijaryhmä | Automaatiotaso | | |
| Kuljetuksenantajat | 1-3 | 3-5 | - |
| Kuljetusyrittäjät | 3-4 | 3- | 2 |
| Ajoneuvovalmistajat | 4 | 4-5 | - |
| Kuormainvalmistajat | - | - | 2- |
| Tutkijat | 4-5 | 5 | - |
| Liikenneviranomais- lainen | 3- | 4-5 | - |

SAE-tasoilla 3–4 kuljettajan ei SAE:n määrittelyjen mukaan tarvitsisi jatkuva-aikaisesti seurata ja havainnoida ajoympäristöä. Tasolla 3 kuljettaja on läsnä vain vara-ajajan roo-
lissa häiriötilanteiden tai ODD:n ulkopuolelle joutumisen varalta. Tasolla 4 järjestelmä osaa itsenäisesti suorittaa vara-ajamisen ja saattaa ajoneuvon minimoitujen riskien tilaan, eli esimerkiksi tarpeen tullen pysäyttää ajoneuvon tienlaitaan. Täten tasolla 4 ei kuljet-
taa välttämättä tarvita. Vastuu automaatiojärjestelmien käyttämisestä nähtiin kuuluvan kuljettajalle, sillä ajoneuvo- ja nosturivalmistajien ei uskota ottavan koko ajamisen

vastuuta itselleen. Tämän vuoksi ajoneuvolla tulee todennäköisesti pysymään vastuunalainen kuljettaja, joka päättää ja vastaa automaatiojärjestelmien käyttämisestä eri olosuhteissa, vaikkei itse SAE-tasoluokitus teknisessä mielessä tätä vaatisikaan. Epäselväksi myös arveltiin, tuleeko laki vaatimaan edelleen tulevaisuudessa avoimissa tieympäristöissä vastuunalaisen kuljettajan automaattisille, jopa SAE-tason 4 ajoneuvoille.

Mikäli kuljettajan ylin vastuu ajamisesta säilyy, arvelivat kuljetusyrittäjät kuljettajan joutuvan ainakin jossain määrin seuraamaan automaattista ajamista, jotta hän pysyy selvillä ajo-olosuhteista ja osaa ennakoida mahdolliset vaaratilanteet, joihin järjestelmä ei välttämättä osaa reagoida. Haastatteluista ilmeni, ettei muuta työtä ajon aikana tekevän kuljettajan nähty kykenevän reagoimaan äkkitilanteeseen ja ottamaan ajoneuvon hallintaa riittävän nopeasti. Täten ajonaikainen muun työn tekeminen, kuten kuljetussuunnittelu, voi jäädä automaatiokehityksen lupauksista huolimatta vain haaveeksi ainakin avoimilla alueilla. Vasta järjestelmien kehittyttyä huomattavasti ja niiden ODD-kattavuuden laajennuttua riittävästi nähtiin mahdollisena järjestelmien kyvyn ennakoida erilaisia vaaratilanteita riittävän hyvin, jotta kuljettajan ajonaikainen työnteko tai lepo mahdollistuisi. Tämän vaadittavan turvallisuustason saavuttamiseen avoimessa ympäristössä nähtiin kuitenkin kuluvan jopa vuosikymmeniä. Kuljettajan mukanaolon vuoksi kuljetusyrittäjät näkivät tasot 3–4 varsin hyödyttöminä heidän osaltaan ja vasta tason 5 täysautonominen puutavarat- tai hakeauto toisi suurta hyötyä henkilöstökulujen ja työvoiman tarpeen pienentämisen osalta.

Tällä hetkellä on epävarmaa, tuleeko lainkaan SAE-tason 3 ajoneuvoja tuotantoon. Tasolla 3 järjestelmän ja kuljettajan väliset vastuut ovat vaikeasti määritettävissä ja monesti vastuut voivat mennä jopa päällekkäin, mikä mutkistaa turvallisuus- ja vastuuasioiden tulkintaa. Haastatteluista ilmeni, että selkeät ja yksitulkintaiset vastuu- ja turvallisuusmääritykset ovat automaation käyttöönoton edellytys. Kuljetusyrittäjät painottivat, etteivät he halua ottaa käyttöönsä järjestelmää ja maksaa siitä korkeampaa hintaa, mikäli kuljettajan vastuu ei ole selkeä.

Letka-ajamista teollisuuden ainespuun autokuljetuksissa ei ole vielä käytössä. Letka-ajamisen soveltuvuus koettiin mahdolliseksi ainoastaan tehtaiden ja terminaalien välisillä vakioireiteillä ja silloinkin vain pitkillä kuljetusmatkoilla. Kuljetusyrittäjät arvelivat noin

150–200 km:n kuljetusmatkan vähimmäiskuljetusmatkaksi kannattavalle letka-ajolle. Vakioireiteillä nähtiin vähän ajamiseen vaikuttavia muuttujia, mikä mahdollistaa letka-ajon, toisin kuin tienvarsivarastoilta puuta ajettaessa. Tienvarsivarastoilta puuta ajettaessa on liian paljon erilaisia ajosuunnitelmia muuttavia tekijöitä, jotka tekevät letka-ajon suunnittelusta hankalaa. Vakioireiteillä letkan ajoneuvoilla on yhteinen alkua- ja loppupiste, jolloin letka voidaan pitää koossa koko kuljetuksen ajan. Sivutuotehakkeen ajoon letka-ajamisen todettiin soveltuvan parhaiten, sillä kuljetusten lähtö- ja toimituspisteet pysyvät lähestulkoon aina samoina. Suurin hyöty letka-ajosta saavutettaisiin SAE-tason 4 letka-ajolla, eli kuljettajaa tarvittaisiin vain johtoajoneuvossa ja perässä ajavat ajoneuvot toimisivat ilman kuljettajaa, jolloin hyötyjä kustannustehokkuudessa olisi riittävästi saavutettavissa.

Suljetuilla alueilla yli viiden vuoden kuluttua arvioitiin tasojen 3–5 automaation olevan jo laajasti käytössä erilaisissa puun siirto- ja purkutoiminnoissa (Taulukko 10). Tason 5 työkoneita ja ajoneuvoja ei tarvitsisi enää valvoa, sillä niiden oletetaan olevan täysin autonomisia ja siten kykeneviä valvomaan omaa työskentelyään ja ylläpitämään turvallisuutta.

Ajoneuvokohtaisten puutavaranosturien kehityksen arveltiin yli viiden vuoden kuluttua pääsevän tasolle 2 (Taulukko 10), jolloin ihminen lähinnä aktiivisesti valvoo kuormaus-toimintoja ja tarvittaessa puuttuu niihin. Haasteet etenkin pinosta kuormaamisessa metsätiellä varressa mainittiin kuitenkin todella suuriksi, mikä asettaa suuria vaatimuksia nosturien sensori- ja automaatioteknologian toimintavarmuudelle ja kestävyydelle. Erityisen hankalaksi arvioitiin lastaus lumen peittämästä pinosta eri mittaisista tavaralajeista. Kuormaainvalmistajat näkivät vaikeaksi päihittää automaatiolla ihmiskuljettajan tehokkuutta haastavissa olosuhteissa toimittaessa. Puutavaranosturivalmistajat pitivät jopa mahdollisena, että tehokkaan automatisoidun raakapuun kuormauksen saavuttamiseksi joudutaan ehkä radikaalisti muuttamaan työmenetelmiä. Tämä tarkoittaisi mahdollisesti jopa luopumista puutavaranosturista ja siirtymistä esimerkiksi vaihtolavaratkaisuihin, jolloin valmiiksi tienvarressa kuormatut pankot kuormatiloineen nostettaisiin automatisoidusti kyytiin samaan tapaan kuin roskalavat vaihtolava-autoon.

Kuormaimen automatisoinnin kehittäminen kuorma-autojen automaatiokehitystä nopeammin ei puutavaranostrivalmistajien mukaan tuota suurta hyötyä, sillä puutavaranosturin käyttö käsittää vain pienen osan kuljettajan työajasta. Kuljettajan työn korvaaminen automaation avulla puutavaranosturin osalta nähtiin mielekkääksi, mikäli nosturin automaatiokehitys tapahtuu samalla tahdilla kuin ajoneuvopuolella. Mikäli ajoneuvon osalta automaatiotasoa vaatii kuljettajan aktiivista roolia ajoneuvon hallinnassa, koettiin puutavaranosturin automatisointi lähinnä osaoptimoinniksi, jolloin nosturin automaation hyödyt koko ketjun kannalta jäisivät varsin merkityksettömiksi. Karkeasti voidaan sanoa, että puutavaranosturin täysautomaatioon tähdätään vasta siinä vaiheessa, kun kuljettajaa ei myöskään tarvita puutavara-auton hallinnassa. Kuorman purkaminen nähtiin lastausta helpommaksi automatisoida, sillä pölkyt ovat kuormatilassa jo valmiiksi päät tasattuina, jolloin ne on varsin yksinkertaista purkaa esimerkiksi suoraan tukkipöydälle. Pinoon purku on puolestaan haasteellisempaa, sillä pinoon purkaessa pitää hahmottaa pino ja kouraisutaakan sopivuus pinoon.

8.4 Automaation mahdollisuudet ja kehitystarpeet ainespuun autokuljetusketjussa

8.4.1 Teknologia

Automaatioteknologian suurimmaksi haasteeksi nähtiin automaatiojärjestelmien ja sensoreiden toimintavarmuus erilaisissa ja muuttuvissa tieolosuhteissa. Puun autokuljetusten olosuhteiden ollessa haastavat nähtiin sensoriteknologialla ympäristön hahmottamisessa ja objektien tulkinnessa haasteita. Ratkaisuna nähtiin laser- ja tutkasensorit, jotka pystyvät tarkasti hahmottamaan ympäristöä ilman tiemerkinäköäkin. Laser- ja tutkateknologian yleistymisen esteenä koettiin olevan niiden korkea hinta. Erityisesti tutkijat painottivat ajoneuvojen automaatiojärjestelmien heikkoutena olosuhteiden, kuten liukkauden ja tien kantavuuden ennakkoinnin sekä heikon mukautuvuuden olosuhteisiin. Toisin sanoen automaatiojärjestelmät nähtiin liian kaavamaisesti toimiviksi erilaisissa ympäristöissä. Täten automaatioteknologia koettiin toimivaksi parhaiten hyvissä olosuhteissa, etenkin ylemmällä tieverkolla.

Ihmisen mahdollisuus päättää automaatiojärjestelmien toiminnasta koettiin tärkeäksi turvallisuuden kannalta. Haastatellut pitivät tärkeänä, että kuljettajalla on tarvittaessa mahdollisuus kytkeä automaatiojärjestelmät pois päältä, mikäli olosuhteet ovat liian haastavia järjestelmän turvalliselle toiminnalle. Automaatioteknologian kehityksen kuitenkin arvioitiin parantavan järjestelmien toimivuutta niiden ODD:n laajentuessa, jolloin järjestelmät toimivat paremmin eri olosuhteissa ja tieympäristöissä.

Erityisesti kuljetustoiminnan tehokkuuden kannalta ajoneuvojen verkottuneisuus (V2V, V2I ja V2X) koettiin tärkeänä. Infrastruktuuriin ja taustajärjestelmiin verkottuminen nähtiin erityisen tärkeänä varsinkin letka-ajamisen tehokkuuden takaajana. Viranomaisnäkemys mukaan verkottuminen ei saa kuitenkaan olla edellytys automaattiselle ajamiselle ja sen turvallisuudelle, vaan ajoneuvon on pystyttävä ajamaan automaattisesti turvallisesti ilman vaatimusta verkottumiseen. 5G-verkkojen merkitys nähtiin tärkeänä etäohjauksen mahdollistamisen kannalta. Automaatiokehityksen kannalta 5G-verkkoja ei välttämättä nähdä edellytyksenä automaatiolle, sillä jatkuvaa etäohjausta ei nähdä mielekkäänä kehityssuuntana. Täten etähallintaan ja -valvontaan nähtiin riittävinä esimerkiksi kehittyneet 4G-verkot, sillä manuaalista etäohjausta käytettäisiin vain automaatiojärjestelmien häiriötilanteiden aikana, eikä jatkuva-aikaisesti. V2V-, V2I- ja V2X -verkottumiseen nähtiin viranomaisnäkemys mukaan riittävän myös lyhyen kantaman radiosignaali modeemien ollessa asennettuina ajoneuvoihin sekä teiden varsille.

Etenkin verkottuneisuuden osalta liikenneviranomainen, kuljetuksenantajat sekä kuormainvalmistajat painottivat tietoturvan merkitystä, sillä ajoneuvojen- ja taustajärjestelmien välillä kulkee paljon puunkuljetustoimintaan liittyvää tietoa. Ainespuun autokuljetustoiminnan kannalta tärkeän tiedon vuotaminen väärin käsiin koettiin uhaksi, jonka toteutuminen pitäisi pystyä estämään. Kuormainvalmistaja B sekä kuljetusyrittäjä A näkivät mahdollisena uhkana ajoneuvojen automaatiojärjestelmien hakkeroinen, josta voi suurena vaarana olla auto- ja kuormainkaluston toimintahäiriö. Hakkeroinnin pahimpana uhkakuvana nähtiin liikenneturvallisuuden heikkeneminen, mikäli ulkopuolinen voi päästä käsiksi ajoneuvojen automaatiojärjestelmiin.

Ainespuun autokuljetuksen haastavissa olosuhteissa automaatiojärjestelmien komponenttien on oltava kestäviä, jotta niiden toimintavarmuus voidaan taata. Erityisesti kuljetusyrittäjät ja kuljetuksenantajat kokivat ehdottomana automaation toimintavarmuuden eri olosuhteissa eli automaation hyödyt tulisi olla saatavissa erilaisissa olosuhteissa toimittaessa. Kuljetusyrittäjät painottivat vaatimustensa automaation hyötyjen suhteen olevan korkealla etenkin automatisoidun puutavara-ajoneuvon hankintahinnan ollessa todennäköisesti korkeampi tavalliseen puutavara-autoon verrattuna. Tutkijoiden ja ajoneuvovalmistajien mukaan henkilöajoneuvoihin suunnitellut komponentit eivät sovellu ainespuun autokuljetuksen haastavaan toimintaympäristöön käytettäviksi, jolloin suurille henkilöautomarkkinoille suunnattuja komponentteja kilpailukyisine hintoineen ei voida hyödyntää kuorma-autojen valmistuksessa. Kuorma-autoteollisuus joutuu täten turvautumaan erikoiskomponentteihin, jotka kestävät ja toimivat haastavissa olosuhteissa, mutta jotka ovat myös kalliita. Komponenttien kalleus heijastuu ajoneuvon myyntihintaan, jonka uskotaan hankaloittavan teknologian kaupallistamista, etenkin otettaessa huomioon ainespuun autokuljetustoiminnan alhaiset katteet. Erityisesti tutkijat näkivät, että hyötyajoneuvoteollisuudelta puuttuvat henkilöajoneuvoteollisuudelle tyypilliset suuret massamarkkinat, mikä hidastaa kestävien erikoiskomponenttien hintojen laskua.

Muiden haastateltujen näkemyksistä poikkeava näkemys puutavara-autojen tulevaisuudesta ilmeni ajoneuvovalmistaja B:n haastattelussa. Hänen mukaansa puutavara-ajoneuvot joudutaan nykyisin rakentamaan liiaksi kompromissiratkaisuksiksi, jotta niillä olisi sekä maanteille että metsäteille soveltuvat ominaisuudet. Kompromissien hän mainitsi olevan aina kumpaakin ominaisuutta huonontava tekijä. Tälläkin hetkellä ajoneuvovalmistaja B:n näkemyksen mukaan raakapuuta joudutaan hakemaan huonokuntoisilta metsäteiltä, joille hänen mukaansa ei pitäisi olla mitään asiaa nykyisten 76-tonnisten ajoneuvojen kanssa. Kuitenkin metsäteillä on pystyttävä ajoneuvokalustolla toimimaan, jolloin ajoneuvon metsätieominaisuudet heikentävät maantieominaisuuksia, kuten aerodynaamisuutta. Hänen mukaansa puut olisi saatava parempien teiden varten autokuljetusta varten. Tähän hän näki ratkaisuna autonomisten maastokuorma-autojen kehittämisen, jotka voisivat itsenäisesti ajaa puuta hakkuutyömaalta hyvien teiden varten pinoihin. Metsätiekaluston ollessa erikseen, voitaisiin kaukokuljetukseen tarkoitettujen puutavara-autojen rakenteita keventää ja suunnitella ajoneuvo alunperin maantieominaisuuksien osalta huippuunsa.

Teknologian merkitystä energiankulutuksen pienentämiseen korostettiin erityisesti ajoneuvovalmistajien, kuljetuksenantajien ja kuljetusyrittäjien puolelta. Tutkijoiden näkemyksen mukaan kehittyvät automaatiojärjestelmät eivät kuitenkaan välttämättä pienennä puutavara-auton energiankulutusta. Järjestelmien ODD:n laajentuminen ja automaatiotason nousu vaativat laskentakapasiteetin lisäämistä, mikä johtaa ajoneuvon energiankulutuksen kasvuun järjestelmien osalta. Järjestelmän käyttämä energia on täten pois ajoneuvon ja kuorman liikuttamiseen käytetystä energiasta.

Puutavaranosturien kehityksen hidasteena kuormainvalmistajat mainitsivat mekaanishydraulisten nosturien suosion, mikä hidastaa automaation kehittymistä ja käyttöönottoa, sillä automatisointi vaatii nosturin olevan sähköohjattu. Vasta nosturien sähköhydraulisten ohjausjärjestelmien yleistyessä nähdään paremmat edellytykset automaation lisäämiselle, jolloin kärkiohjauskin puutavaranostureissa yleistyy.

8.4.2 *Infrastrukturi*

Infrastruktuurin osalta haastatteluissa korostuivat sekä fyysinen, että digitaalinen tieinfrastrukturi. Erityisesti kuljetuksenantajat ja kuljetusyrittäjät kokivat tieverkon nykyisen kunnon olevan pääosin huono muutamia pääteitä lukuun ottamatta. Tiestön huono kunto arveltiin yleisesti ajamisen automaation toiminnan kannalta suureksi haasteeksi. Erittäin vaativat olosuhteet metsä- ja sorateillä rajaavat ulos niiltä osin etenkin korkeamman ajamisen automaation käyttöönoton pitkäksi aikaa, sillä etenkin metsäteiden yhä rapautuva kunto ja puutteelliset mitoitus- ja rakennusolosuhteet ovat jo nykyisten raakapuun autokuljetusten kannalta ongelma. Edellä mainituista syistä ajamisen automaatio tulee kohdistumaan lähinnä hyviin olosuhteisiin ylemmälle tieverkolle. Letka-ajaminen koettiin tehokkaana vain moottoriteillä, joilla letka voidaan pitää kasassa omalla kaistallaan ja muulle liikenteelle taitaan ohitusmahdollisuus.

Suomen tieverkon olosuhteet koettiin haastaviksi automaattiselle ajamiselle etenkin, kun ainespuun autokuljetustoiminnassa vaaditaan ympärivuotista toimintavarmuutta (ks. kapale 3.2). Suomen olosuhteissa myös teiden talvikunnossapito on ainespuun autokuljetusten kannalta tärkeää. Talvikunnossapidon tila arviottiin jo nykyiselläänkin olevan

riittämättömällä tasolla tämänhetkisten käytössä olevien SAE-tasojen 0 ja 1 kannalta. Automaation lisääntymisen nähtiin vaativan talvikunnossapidon laadun parantamista, jotta laadussa ei esiintyisi suurta alueellista vaihtelua. Joukkoistetun tiedonkeruun nähtiin olevan ratkaisu olosuhteiden ja tien kunnon seurantaan, jotta kuljettajan lisäksi myös tienpitäjällä olisi ajantasainen tieto kunnossapitotoimien täsmälliseksi kohdistamiseksi tieverkolle.

Digitaalinen infrastruktuuri verkottumisen (V2I) kanssa koettiin tärkeänä ajantasaisen tiestötiedon välittämisessä automaatiojärjestelmille. Tärkeinä digitaalisen infrastruktuurin tarjoamina tietoina nähtiin tiedot tieverkon olosuhteista, nopeusrajoituksista ja korjaustöistä. Ajantasaisella tiedolla parannettaisiin kuljetusten suunnittelun lisäksi ajamisen ennakointia, joka vaikuttaa edelleen turvallisuuteen ja tehokkuuteen.

Kuormaus- ja purkutoimintojen automaation kannalta raakapuun kuljetuksessa metsätieolosuhteet ja sivutuotehakkeen kuljetuksessa tuotantolaitosten lastaus- ja purkuinfrastruktuuri mainittiin haasteellisina. Raakapuun tienvarsivarastojen osalta haasteeksi kuormaimen automaation kannalta nähtiin pinoille varattujen alueiden koon vaihtelu. Kuormainvalmistajat painottivat puutavaranostureiden korkeamman (tasosta 2 eteenpäin) automaation tulevan kysymykseen lähinnä siinä tapauksessa, että pinojen mitat olisivat standardeja. Talvisin myös pinojen lumipeitteen nähtiin muodostuvan ongelmaksi sensoreille, jolloin ne eivät pystyisi havaitsemaan pinossa olevia eri tavaralajeja. Sivutuotehakkeen kuormaus- ja purkupaikkojen mainittiin olevan liian ahtaita kuljettajienkin kannalta, jolloin ajamisen automaationkaan ei uskottu toimivan ahtaassa ympäristössä. Sivutuotehakkeen lastaus- ja purkupaikkojen fyysisen infrastruktuurin koettiin myös vaihtelevan liikaa tuotantolaitosten välillä ja standardoinnin puutteen koettiin haittaavan automaation toimivuutta ajoneuvon käsittelyssä.

8.4.3 Lainsäädäntö ja vastuukysymykset

Suomen tieliikennelainsäädännön arvoitiin mahdollistavan hyvinkin laajat automaatiokokeilut avoimilla ja etenkin suljetuilla alueilla. Lainsäädäntö nykyisellään vaatii ajoneuville vastuunalaisen kuljettajan, joka lain tulkinnan mukaan voi sijaita joko ajoneuvossa tai sen ulkopuolella etäohjaajana (ks. luku 4.1). Lainsäädännölliseksi ongelmaksi ei nähty

nykyisten lakien asettamia rajoitteita, vaan pikemmin lain epämääräisyyttä automaattisten ajoneuvojen osalta. Liikenneviranomaisen mukaan ongelmana on, ettei tieliikenne-laissa välttämättä erikseen kielletä joitakin automaattiseen ajamiseen liittyviä toimintoja, muttei erikseen myöskään sallita niitä, mikä hankaloittaa muun muassa vastuukysymysten määrittelyä. Automaattisille ajoneuvoille ja niiden valmistukselle ei ole myöskään suunnitteluohjeistoa eikä standardisoituja toimintavaatimuksia. Kuormainvalmistajat näkivät, että puutavaranostureiden automaation lainsäädännölliset ja vastuukysymykset tulevat noudattamaan raskaiden ajoneuvojen lainsäädännön kehitystä.

Tieliikennelainsäädäntöä nähtiin tarpeelliseksi päivittää automaation teknologisen kehityksen mukana, sillä nykyinen tieliikennelainsäädäntö perustuu perinteisiin ajoneuvoihin ja liikennesääntöihin, jotka eivät välttämättä ole suoraan sovellettavissa korkeamman tason automaattiseen ajamiseen. Liikennesäännöt on pitkälti laadittu siten, että vain ihmis-kuljettaja pystyy niitä tulkitsemaan ja ymmärtämään. Mahdolliset muutokset tulee tehdä EU ja kansainvälisellä tasolla, jotta maailmanlaajuisesti voidaan saavuttaa yhtenäiset linjat automaattisen ajamisen lainsäädännölle.

Kuljetuksenantajat ja kuljetusyrittäjät painottivat ajo- ja lepoaikalakien uudelleen tarkastelun tärkeyttä ajamisen automaation kattavuuden käsittäessä useampia ajamistoimintoja ja kuljettajan roolin muuttuessa. He kokivat tärkeänä hyötynäkökulman kannalta kuljettajan ajankäytön lukemisen muuksi kuin ajoajaksi automaation ajaessa ja kuljettajan joko monitoroidessa ympäristöä (SAE-taso 2) tai toimiessa vara-ajajana (SAE-taso 3). Kuljettajan ajankäyttö voitaisiin tällöin heidän mukaansa lukea joko muuksi työajaksi, puolitehtäksi ajoajaksi tai lepoajaksi. Moni haastatelluista kuitenkin samalla ilmaisi mahdollisena, ettei ajoaikalainsäädäntöä käytännössä tulla muuttamaan, sillä ajo- ja lepoaikalainsäädännön muuttaminen vaatisi EU-tason käsittelyn, joka olisi raskas ja pitkä, useita vuosia vaativa prosessi.

Ajoneuvojen automaatiojärjestelmien ja kuljettajan välisten vastuiden jakautuminen ajamisen sekä kuormaus- ja purkutoimintojen osalta nähtiin haasteellisena. Erityisesti kuljetuksenantajat ja kuljetusyrittäjät kokivat, ettei kuljettaja voi olla vastuussa automaatiojärjestelmän päätöksenteosta ja toiminnasta, mikäli kuljettaja ei pysty järjestelmän toimintaan vaikuttamaan. Useat näkivät, että ylin vastuu ajoneuvon turvallisuudesta ja

automaatiojärjestelmien käytöstä säilyy kuljettajalla niin pitkään kuin kuljettajalla on mahdollisuus päättää järjestelmien käytöstä. Mikäli kuljettaja ei voi mitenkään vaikuttaa järjestelmien toimintaan, ei hänelle myöskään vastuuta voida siirtää. Liikenneviranomaisen, tutkijat ja ajoneuvovalmistajat painottivat kuljettajan vastuuta järjestelmien käytöstä oikein olosuhteiden ja valmistajan ohjeiden mukaan. Mikäli kuljettaja on onnettomuustilanteessa toiminut valmistajan ohjeiden ja liikennesääntöjen mukaisesti ja onnettomuuden todetaan aiheutuneen järjestelmäviasta, nähtiin valmistajan vastuu tällöin väistämättömäksi. Kuljettajan ylimmän vastuun säilyminen voi mahdollisesti estää muun työn tekemisen automaattisen ajon aikana, sillä mahdollisena ei pidetty, että kuljettaja pystyisi olemaan ajan tasalla ajamisesta tehdessään täysin muuta työtä, esimerkiksi ajojen suunnittelua. Myös kuljettajan reagointikyky äkkitilanteisiin nähtiin liian alhaisena, mikäli kuljettaja keskittyy muuhun työhön tai lepoon ajoympäristön tarkkailun sijaan.

Eritoten tutkijat, ajoneuvo- ja kuormainvalmistajat painottivat vastuukysymysten merkitystä automaatiokehitykseen, sillä he kokivat ne suurimpana hidasteena turvallisuuden ohella. Erityisen ongelmalliseksi arvioidaan SAE-tason 3 automaatio, jossa vastuu dynaamisesta ajamisesta on kokonaan järjestelmällä ja ihminen on vastuussa vain dynaamisen ajamisen varasuorittamisesta. Vastuunjako kuljettajan ja järjestelmän välillä nähdään liian epämääräisenä turvallisuuden kannalta, jolloin välttämättömiä tarkkoja vastuuta järjestelmän ja kuljettajan osalta on mahdotonta määrittää. Ajoneuvo- ja kuormainvalmistajat myös painottivat, etteivät he voi taata kuljettajan käyttävän järjestelmiä oikein, jolloin valmistajat eivät myöskään halua ottaa koko vastuuta ajamis- tai kuormaustoiminnoista. Viranomaisen piti mahdollisena, ettei ajoneuvoteollisuus ole halukas kehittämään automaatiota, mikäli heille langetetaan automaation käytöstä liikaa vastuuta. Ajoneuvoteollisuus aikoo näillä näkymin jättää SAE-tason 3 väliin ja suuntaa suoraan tasoihin 4 ja 5, joissa kuljettajalla ei ole pakollista roolia dynaamisessa eikä vara-ajamisessa.

Automaatiojärjestelmien käyttöympäristöjen (ODD) laajentuminen ja älykkäät järjestelmät tulevat olemaan haaste turvallisuuden ja vastuukysymysten kannalta, sillä etenkin älykkäiden järjestelmien toiminnan verifioiminen on osoittautunut vaikeaksi. Älykkään automaatiojärjestelmän hyödyntämisen datan vaikutusta järjestelmän antamiin käskyihin ei voida kunnolla varmistaa. Älykkäät järjestelmät muokkautuvat tutkijoiden mukaan jatkuvasti uusiksi järjestelmiksi aiempien tehtyjen päätösten ja vastaanottamansa datan

perusteella. Täten järjestelmä muuttaa käyttäytymistään jatkuvasti, mikä tekee sen toiminnan verifiointista mahdotonta. Myös automaatiojärjestelmien ”black box” -luonne tekee esimerkiksi ajoneuvojen käyttöön hyväksynnästä eli katsastuksesta todella vaikeaa tai jopa mahdotonta, kun järjestelmien tarkkaa toimintaa ei pystytä takaamaan.

8.4.4 Hyväksyttävyyys

Ajamisen ja kuormauksen toimintojen automatisoinnin koettiin jakavan kuljetusyrittäjiä ja kuljettajia hyväksyttävyyden osalta. Automaatioon suhtautumisen koettiin olevan osin ikäpolvi- ja osin tottumiskysymys. Karkeasti voidaan sanoa, että hyväksyntä vaihtelee ikäpolvien välillä ja hyväksyntä automaatiota kohtaan on suurinta nuorempien sukupolvien kohdalla. Moni haastateltava piti vanhemman ikäpolven kuljettajien suhtautumista automaatiota kohtaan varsin skeptisenä, mutta yksiselitteisesti ei kuitenkaan voitu nähdä pelkästään iän korreloivan hyväksyttävyyden kanssa. Liikenneviranomaisen painotti, että hänen kokemuksensa mukaan ikäpolvien välinen hyväksyttävyysero on lähinnä alkusuhtautumisessa, ainakin henkilöautojen automaation osalta. Alkusuhtautumisen on havaittu olevan nihkeämpää vanhemmilla ikäpolvilla kuin nuoremmilla. Päästyään henkilökohtaisesti testaamaan, on havaittu myös vanhempien kuljettajien hyväksyvän ajamisen automaation nihkeän alkusuhtautumisen jälkeen.

Monet haastateltavista kokivat hyväksyttävyyden olevan iän lisäksi myös tottumiskysymys eli aiempi tottuneisuus esimerkiksi tietotekniikan käytössä työssä vaikuttaa hyväksyttävyyden syntymiseen. Suurin potentiaali automaation hyväksymisen osalta nähtiin kuitenkin nuorissa sukupolvissa, joille älylaitteet ja tietotekniikan käyttö ovat itsestäänselvyyksiä. Täten kuljettaja- ja yrittäjäkunnan sukupolvenvaihdos tulee osaltaan parantamaan automaation hyväksyttävyyttä. On kuitenkin otettava huomioon, etteivät kaikki automaation näytöistä huolimatta hyväksy automaatiota, koska he mahdollisesti kokevat ajoneuvon ja kuormaimen hallinnan liittyvän vahvasti heidän ammatti-identiteettiinsä. Loppujen lopuksi monella puutavara-auton kuljettajalla vastustusta arveltiin ilmenevän vain alkuvaiheessa, jonka jälkeen se häviää automaatiojärjestelmien positiivisten käytökokemusten myötä.

Ainespuun autokuljetusyrittäjäkuntaa luonnehdittiin varsin konservatiiviseksi, joka ei halua toimia koekaniinina uudelle teknologialle ilman takuita sen toimintavarmuudesta ja tuottamista hyödyistä. Osin uuden kokeilun nihkeyteen vaikuttaa se, että automaatiojärjestelmiä sisältävät ajoneuvot ovat perinteisiä ajoneuvoja kalliimpia ja ilman näyttöjä investointi sellaiseen näyttäytyy riskinä. Yrittäjien myös arveltiin olevan parhaiten selvillä toimintaympäristönsä haastavuudesta, mikä osaltaan selittää heidän epäilynsä korkeampien tasojen (tasot 3–5) automaatiojärjestelmien toimivuudesta raakapuun autokuljetuksessa. Yrittäjät mainitsivat, että laiterikko aiheuttaa korjauskustannuksen lisäksi tulonmenetyksen yrittäjälle ajamattomien puukuormien muodossa. Täten ajoneuvo, jonka toimintavarmuudesta ei olla vakuuttuneita, ei vaikuta järkevältä investoinnilta. Haastatellut kuljetusyrittäjät, kuljetuksenantajat sekä ajoneuvovalmistajat painottivat konkreettisen näytön merkitystä hyväksynnän syntymisessä. Vasta hyväksi ja toimivaksi havaittu automaatiojärjestelmä otetaan vastaan, mikäli hankinta- ja ylläpitokustannukset eivät ole liian suuria järjestelmän tuottamiin hyötyihin suhteutettuna. Ajoneuvo- ja kuormainvalmistajat kokivat tärkeäksi järjestää kuljetusyrittäjille ja kuljettajille automatisoidun puutavara-auton kokeilumahdollisuuksia, jotta hyödyt olisi mahdollista kokea henkilökohtaisesti. Myös pilottihankkeet, joista tiedotetaan ja joita pääsee seuraamaan, nähtiin tärkeinä.

Toisaalta automaation ja uuden teknologian vastustuksen ei aina nähty edes perustuvan järkisyihin, kuten näyttöjen puutteeseen, vaan mieltymyksiin. Esimerkiksi ajamisen hallinnasta pitävien kuljettajien kohdalla nähtiin automaation vastustus suurimmaksi ja heidän kohdallaan automaation yleistymisen nähtiin jopa huonontavan työssä viihtymistä. Kuljetuksenantajat mainitsivat esimerkkeinä järkisyihin perustumattomista valinnoista puutavara-auton manuaalivaihteiston ja mekaanishydraulisen puutavaranosturin, sillä heidän näkemyksensä mukaan automatisoidut vaihteistot ja sähköohjatut puutavaranosturit ovat jo nykyisin edeltäjiään parempia toiminnan kannalta.

Erityisesti tutkijat painottivat tiedotuksen olevan tärkeässä osassa automaattisen ajamisen hyväksyttävyyden syntymisessä. Heidän mukaansa nykyisin ilmassa on osin liioiteltuja ja katteettomia lupauksia esimerkiksi automaation liikenneturvallisuutta parantavista hyödyistä. Katteettomat lupaukset nähdään todella vaarallisina viimeistään siinä vaiheessa, kun ne osoittautuvat katteettomiksi automaattisten ajoneuvojen aiheutettua kuolonkolarin, jossa syyn todetaan olleen järjestelmissä, joiden mainostettiin olevan

ihmiskuljettajia turvallisempia. Tällaisissa tilanteissa myös median toiminta voi osaltaan pahentaa vastustusta automaattista ajamista kohtaan. Erityisen hankaliksi mainittiin tapaukset, joissa virhe on ohjelmointiperäinen ja olisi ollut vältettävissä.

Lainsäädäntö- ja vastuukysymysten epäselvyydet haittaavat hyväksynnän syntymistä. Erityisesti kuljetusyrittäjät kokivat, ettei kuljettaja halua ennalta tietämättään joutua vastaamaan jostakin järjestelmästä, jonka toimintaa kussakin tilanteessa ei voi käsittää. Hyväksynnän kannalta vastuun jakautumisen selkeä jako nähtiin oleelliseksi.

8.5 Automaatiolla tavoiteltavat hyödyt ainespuun autokuljetuksessa

8.5.1 *Tehokkuus ja kustannukset*

Seuraavien 3–5 vuoden kuluessa automaation nähtiin pääasiassa parantavan puutavara- ja haakeyhdistelmien polttoainetaloutta sekä kuljetustehokkuutta. Tehokkuus arvioitiin yksinkertaisimmaksi saavuttaa turvallisesti suljetuilla tehdas- ja terminaalialueilla puun purkutoiminnoissa. Kuljetusyrittäjien kannalta purkutoimintojen tehostaminen toisi kaivattua tehokkuuden nousua ja toiminnan joutokäynnin vähentymistä. Tehokkuus- ja kustannushyödyt nähtiin erittäin tärkeinä ja moni haastatelluista puhuikin näistä yhtenäisenä kustannustehokkuuden kokonaisuutena, jonka muodostavat esimerkiksi pienentyneet polttoainekustannukset suhteessa kuljetuksen tuottavuuteen. Tehokkuuden lisääntymisessä olennaisena ovat automaatiosta aiheutuvat kustannukset arvioitaessa automaation hyödyntämistä ja käyttöönottoa. Tutkijat painottivat oleellisena hyötyjen arvioinnissa automaatiojärjestelmien hyötyjen vertaamista sen hankinta- ja ylläpitokustannuksiin sekä järjestelmien elinkaareen, eli kuinka pitkään järjestelmältä hyödyt ovat saatavissa ja millä kustannuksin.

Merkittävät henkilökustannussäästöt ovat realistisia suljetuilla alueilla pyöreän puun vastaanotoissa ja sivutuotehakkeen kuormauksessa sekä purussa. Etähallinnan avulla yksi henkilö voisi valvoa usean ajoneuvon automatisoituja kuormaus- ja purkutoimintoja. Autokuljetusten henkilökustannuksissa säästö automaation avulla saavutetaan suuressa mitakaavassa vasta automaation kehittyttyä tasoille 4–5 myös avointen alueiden osalta, jolloin kuljettajaa ei tarvita ajamis-, kuormaus- ja purkutoiminnoissa. Kuljettajan

poisjääminen mahdollistaisi ajoneuvon ohjaamon ja nosturin hytin poistamisen, mikä samalla kasvattaa hyötykuormaa ja polttoainetaloudellisuutta.

Henkilöresurssitehokkuus nousi esille keskeisenä tehokkuustekijänä. Huoli ammattitaitoisten puutavara-auton kuljettajien saatavuudesta tulevaisuudessa pakottaa hakemaan kuljettajapulaan helpotusta myös automaation avulla. Mikäli kuljettajien työvoimapula jatkuu tai jopa pahenee, joudutaan kuljetustoimintaa ylläpitämään pienemmillä henkilöresursseilla. Vain automaation nähtiin tässä asiassa tuovan ratkaisua, mikäli alalle ei saada houkuteltua uusia kuljettajia. Automaatiolla tavoitellaan kuljettajan työn tehostamista samanaikaisesti kuljettajan rasitustasoa vähentäen, ottamalla käyttöön kuljettajan tukijärjestelmiä sekä automatisoimalla osa toiminnoista.

Automaatiolla mahdollistetaan kokemattomien kuljettajien nopeampi tehokkuuden nousu ja samalla vanhempien kuljettajien työssä jaksaminen sekä heidän tehokkuutensa ylläpitäminen. Tehokkuuden nousun nopeuttamisella mahdollistettaisiin uusien kuljettajien alalle tulo, kun tehokkuusvaatimuksien saavuttaminen ei näyttäytyisi enää liian vaikeana. Toisaalta tehokkuuden ylläpitäminen pienemmällä työpanoksella voi myös parantaa nykyisten kuljettajien alalla pysymistä. Esimerkiksi SAE-tasolta 3 ylöspäin tavoitellaan automaattisella ajamisella kuljettajan ajoajan säästämistä lukemalla kuljettajan mukanaolo esimerkiksi muuksi työ- tai lepoajaksi ja täten sallimalla muun työn tekeminen tai lepääminen ajoneuvon liikkuessa. Tällöin työvuoron pituuden esteeksi ei niin helposti muodostuisi vuorokautisen ajoajan umpeutuminen. Kuljettajan ajoaikaa voitaisiin kohdistaa vaikeisiin olosuhteisiin, kuten metsäteillä ajamiseen. On tosin eri asia, tuleeko lainsäädäntö tämän kaltaista ajoaikajoustoa tulevaisuudessa mahdollistamaan.

Merkittävimpanä varsin nopeasti saavutettavana tehokkuushyötynä nähtiin kuljettajien välisten tehokkuuserojen pienentyminen automaation avulla. Tehokkuuserojen pienentyminen saavutettaisiin ensisijaisesti kokemattomien kuljettajien tehokkuuden kasvulla kuormaus-, purku- ja ajamisautomaation avulla. Eniten tuottavuuseroja nähtiin voitavan tasata kuormaus- ja purkutoiminnoissa. Eritoten kuormaustoiminnoissa puutavaranosturin käytön tehostaminen nähtiin todella merkittävänä kokemattomien kuljettajien osalta. Kuormaimen kärkiohjauksen nähtiin tuovan tehokkuuden parantumista kokemattomien kuljettajien osalta. Sen sijaan kokeneen kuljettajan suoritusta ei nähty mahdollisena

ylittää automatisoitujen toimintojen avulla. Kuitenkin työvuoron aikana ammattitaitoisen ja kokeneenkin kuljettajan todettiin väsyvän melko nopeasti, jolloin tehokkuus hetkellisesti putoaa. Automaation avulla voitaisiin varmistaa toimintojen tasainen tehokkuus.

Polttoaineenkulutuksen kuljettajakohtaisten erojen pienentämisessä automaatiolla nähtiin myös tulevaisuudessa suuri rooli yhdessä moottoriteknologian kehittymisen kanssa. Hyöty on suuri, sillä polttoaineenkulutus aiheuttaa merkittävän kustannuserän (noin 1/3 kokonaiskustannuksista) puun autokuljetusyrityksissä (ks. Kuva 2). Tutkijoiden mukaan ajoneuvon hallinnan ja monitoroinnin täysautomatisointi ei kuitenkaan välttämättä johda pienempään polttoaineenkulutukseen ainakaan lähitulevaisuudessa. Mahdollisesti automaatiotason kasvaessa polttoaineenkulutus kääntyy nousuun. Suurin hyöty automaatiolla saavutettaisiin kokemattomien kuljettajien sekä myös sellaisten kokeneiden kuljettajien kohdalla, joilla polttoaineenkulutus on runsasta. Suurin polttoaineenkulutuksen leikkauspotentiaali on täten ajamisen automaatiolla, joka pystyy väsymättömään ennakoiivaan ajamiseen. Tutkijat ja viranomaiset näkivät vasta etähallittujen SAE-tasojen 3–4 ja täysautonomisten tason 5 ajoneuvojen tuovan suurimmat polttoainesäästöt ja täten ympäristöhyödyt, koska tällöin ajoneuvon sekä nosturin ohjaamot ovat tarpeettomia ja ajoneuvo on mahdollista muotoilla aerodynaamiseksi.

Puutavara-auton nosturin käytöllä ei nähty olevan suurta merkitystä puun autokuljetuskaluston polttoaineenkulutukseen, sillä nosturin käyttö käsittää varsin pienen osan ajoneuvon moottorin käyntiajasta, eikä nosturin hydraulipumpun vaatiman energiankulutuksen nähty olevan kovin suurta.

Ajoneuvojen kuljettajasta aiheutuviin kaluston rikkoontumisiin automaation arveltiin edelleen vaikuttavan vähentävästi, sillä jo nykyiset SAE-tason 1 automaatiojärjestelmät ovat parantaneet ajoneuvon kestävyyttä eliminoimalla kuljettajan haitallisen vaikutuksen kestävyYTEEN.

8.5.2 *Turvallisuus*

Sen lisäksi, että turvallisuus mainittiin automaation hyödyksi, on se myös automaation käyttöönoton ensisijainen edellytys. Turvallisuushyödyn saavuttamisessa ensisijaisena ehtona on se, että automaatiojärjestelmät hyväksytään ja niitä käytetään ohjeiden mukaisesti. Haastatelluista suurin osa painotti tärkeänä kuljettajan mahdollisuutta ottaa automaatiojärjestelmä pois käytöstä olosuhteissa, joissa sen käyttö arvioidaan vaaralliseksi, ja jatkaa ajamista manuaalisesti joko ajoneuvossa tai etänä. Täten ihmiskuljettajan rooli automaatiojärjestelmien turvallisen toiminnan valvojana nähdään erittäin tärkeänä myös tulevaisuudessa. Ensimmäisenä turvallisuushyödyt ovat saavutettavissa suljetuilla alueilla, joilla ihmisten oleskelua ja muuta liikennettä on mahdollista rajoittaa. Tällä tavalla toimittaessa mahdollisen vaaratilanteen aiheuttama haittaa kohdistuu vain työkoneeseen tai ajoneuvoon itseensä eikä ihmiseen, mikä on turvallisuuden ja vastuiden kannalta lievempi vahinko.

Niin ajamisessa kuin kuormaus- ja purkutoiminnoissa automaation suurin yksittäinen turvallisuushyöty arvioitiin olevan inhimillisten virheiden poistaminen tai ainakin niiden vähentäminen. Automaation väsymätön ajoturvallisuuden noudattaminen maksimikuormakokojen ja nopeusrajoitusten mukaisesti lisää liikenteen turvallisuutta. Myöskään kuljettajan tunnetilat, kuten kiire tai hermostuneisuus, eivät vaikuta automaattisen ajamisen suorittamiseen, vaan järjestelmä ajaa kuljettajan tunnetilasta huolimatta kurinalaisesti. Automaattinen ajamisjärjestelmä ei myöskään ”nukahda rattiin”, vaan pitää ajoneuvon aina omalla kaistallaan. Ajo-, kuormaus- ja purkutehtävien automatisoimisen nähtiin myös vähentävän kuljettajan kuormittuneisuutta, mikä mahdollistaa kuljettajan keskittymisen suuntaamisen ajamisen valvontaan. Ajoneuvoyhdistelmän stabiiliteettia ylläpitävät järjestelmät koettiin tärkeiksi turvallisuuden kannalta, sillä järjestelmien kyky hallita yhdistelmän ajonaikaista stabiiliutta arvioitiin paremmaksi ja luotettavammaksi kuin kuljettajan.

Puutavaranostureiden osalta turvallisuus katsottiin helposti saavutettavaksi hyödyksi, sillä nosturin käytölle ei kohdistu samoja rajoituksia ja vaatimuksia kuin ajoneuvolle tieliikenteessä. Myös nosturin käyttöympäristö arvioitiin tieliikennettä helpommaksi. Nosturin hallinta joko manuaalisesti VR-lasien avulla tai automaattisesti puutavara-auton

ohjaamosta parantaa turvallisuutta poistamalla nosturiin kiipeämisen yhteydessä tapahtuvat yleiset työtapaturmat, kuten liukastumiset ja putoamiset. Lukumäärällisesti nosturiin kiipeämisen yhteydessä tapahtuvat tapaturmat ovat todella merkittävässä osassa puutavara-auton kuljettajien työtapaturmista. Puutavaranosturin vaara-alueen automaattisella monitoroinnilla poistettaisiin kuljettajan kuormittuneisuutta työympäristön seurannan osalta, minkä uskottiin tuovan joutuisuutta työhön.

Kuljetuksenantajat ja kuljetusyrittäjät näkivät ensisijaisena turvallisuutta parantavana sovelluksena SAE-tasoa 0 edustavat tukijärjestelmät, jotka varoittavat kuljettajaa tien kunnosta ja olosuhteista. Tieto kerättäisiin ajoneuvojen antureilta sekä säätietopalveluista ja siirrettäisiin ajoneuvoihin V2V- ja V2X-teknologian avulla. Esiin nousi myös näkemys, jonka mukaan pitäisi olla myös automaatiota, jolla estettäisiin älylaitteiden, kuten älypuhelimien ja tietokoneen käyttö ajon aikana. Ongelmana tällä hetkellä on, että osa kuljettajista käyttää ajon aikana kuljetuksenohjausjärjestelmiä, kuten LogForcea, tai matkapuhelinta.

Sekä puutavaranosturin, että etenkin ajoneuvon automaatiotason 3 automaatio nähtiin turvallisuuden saavuttamisen kannalta todella vaikeana. Kuljetusyrittäjät epäilivät kovasti esimerkiksi kuljettajan valmiutta ottaa ajoneuvo haltuunsa äkkitilanteissa. Viranomainen piti mahdollisena automaation tekevän ajamisesta liian yksitoikkoista ja tylsää, jolloin reaktiokyky äkkitilanteisiin voi huonontua. Tasoilla 4–5 puolestaan vastuu ainakin nykykäsityksen mukaan on automaatiojärjestelmillä ja viime kädessä valmistajalla ODD-rajoitusten mukaisesti järjestelmiä käytettäessä.

Yleensäkin turvallisuuden osalta koettiin tärkeäksi määrittää automaatiojärjestelmille virhemarginaalit. Tutkijoiden mukaan on mahdotonta vaatia automaatiojärjestelmiltä täydellistä (100 %:n) turvallisuutta, sillä niiden heikkoutena on äkkitilanteiden ennakointi. Täten kullekin virheelle olisi sallittava virhemarginaali, jonka sallittu suuruus tutkijoiden näkemyksen mukaan voisi määräytyä esimerkiksi virheestä aiheutuvan seurauksen vakavuuden ja ODD-ympäristön mukaan. Täten merkityksettömille virheille sallittaisiin suurempi virhemarginaali kuin vakavan vaaratilanteen aiheuttaville virheille.

8.5.3 Ympäristövaikutukset

Haastateltavien yhteisen käsityksen mukaan automaation tuoma ympäristöystävällisyys on suora seuraus polttoainetalouden parantumisesta. Merkittävä osuus hyödyn saavuttamisessa on moottori- ja automaatioteknologian yhteiskehityksellä. Moottoriteknologian kehityksestä esimerkkinä mainittiin dieselmoottoreiden kasvaneet hyötysuhteet, jolloin polttoaineenkulutuksen pienentymisen myötä ympäristökuormituskin on pienentynyt.

Taustajärjestelmillä, kuten kuljetuksenohjausjärjestelmillä on myös suuri vaikutus ympäristöystävällisyyteen polttoainetalouden kautta. Reittien optimointi ja maksimikuormilla ajon hyödyntäminen parantavat ainespuun autokuljetusten ympäristövaikutuksia. Tämä kuitenkin liittyy enemmän kuljetusten suunnitteluun kuin itse ajoneuvoon ja sen käyttöön.

Ajamisen automaatiojärjestelmät voivat kuitenkin ODD-kattavuutensa laajentuessa johdattaa jopa suurempaan polttoaineenkulutukseen, joten energiankulutuksen kasvaessa automaation ympäristölliset hyödyt eivät välttämättä ole ihan yksiselitteisiä, kuten aiemmin mainittiin. Ainakin tiettyyn pisteeseen asti automaation ennakoiva ajaminen parantaa polttoainetaloutta. Etähallitut ja autonomiset ajoneuvot mahdollistavat paremman aerodynaamisen muotoilun kautta paremman polttoainetalouden ja siten pienemmät kuljetusten ympäristövaikutukset (ks. Luku 8.5.1).

8.5.4 Kuljettajien työssä viihtyvyys ja työvoiman saatavuus

Kuljettajien työssä viihtymisen nähtiin parantavan sekä nykyisten kuljettajien alalla pysymistä että uusien kuljettajien hakeutumista puun autokuljetustoiminnan pariin. Automaation vaikutusten työvihtyvyyteen nähtiin jakavan kuljettajien mielipiteitä. Automaatioon positiivisesti suhtautuvien kuljettajien osalta automaation nähtiin parantavan heidän työssä viihtymistään. Toisaalta kuljettajat, jotka kokevat automaation vievän pois ajamisen iloa ja mahdollisesti kyseenalaistavan heidän ammatti-identiteettiään, voivat kokea automaation jopa muuttavan työnkuvaa heidän kannaltaan epämieluisaksi. Tällaiset kuljettajat voivat kokea oppimansa ammattiosaamisen joutuvan hukkaan, mikäli siihen liittyviä toimintoja automatisoidaan. Kuljetusyrittäjät näkivät, että SAE-tasolta 2 eteenpäin kuljettajien mielipiteet työn kuvan muuttumisesta tulevat jakautumaan suuresti. Eräs

yrittäjä näki tarvetta suureen muutokseen kuljettajien mielipideilmastossa, mikäli SAE-tasojen 2–5 ajoneuvoja alettaisiin käyttää puun autokuljetustoiminnassa.

Kuljettajatyövoiman saatavuuden ollessa suuri haaste puun autokuljetustoiminnalle automaation nähdään ja myös odotetaan tuovan helpotusta työvoiman saatavuuden ja alan houkuttelevuuden parantamiseksi. Yleisesti nähtiin, että esteinä alalle hakeutumiseen ovat toiminnan korkeat tehokkuusvaatimukset sekä haastavat toimintaolosuhteet. Ajaminen metsä- ja sorateilla sekä puutavaranoisturin tehokas käyttö nähtiin suuriksi kynnyksiksi monelle alalle hakutumista pohtivalle. Myös ammattiin kuuluva vuorotyö mainittiin alan houkuttelevuutta heikentäväksi tekijäksi.

Automaation aiemmin mainitut tehokkuushyödyt (ks. Luku 8.5.1) nähtiin merkittävinä työssä viihtymisen sekä työvoiman saatavuuden parantamisessa, kun aloittava kuljettaja voi saavuttaa tehokkuuden nopeammin automaation tukiessa ja helpottaessa työtä sekä vähentäessä stressiä. Täten heti työuran alkuvaiheilla ei tarvitsisi välttämättä osata kaikkia taitoja ollakseen tehokas kuljettaja. Automaation helpottaessa työnkuvaa arveltiin alan soveltuvan tulevaisuudessa laajemmalle työntekijäjoukolle, jolloin työvoiman saatavuus voisi parantua. Tulevaisuudessa kuljettajan työnkuvan muuttuessa valvovaksi työksi, voisi se houkuttaa entistä paremmin nuoria hakeutumaan alalle, sillä mahdollisesti perinteinen ajaminen ei heihin enää vetoa samalla tavalla kuin aiempiin sukupolviin. Nuorten arveltiin myös jopa oletettavan monien toimintojen olevan automatisoituja edes osittain, jolloin esimerkiksi mekaanishydraulisin kuormaimin ja synkronoimattomin manuaalivaihteistoin varustettu puutavara-ajoneuvo voi tuntua liian työläältä vaihtoehdolta. Nykyisin merkittävän osan ajoneuvokalustosta edustaessa SAE-tasoa 1, on työnkuva kuitenkin paljon helpottunut.

Kuljetusyrittäjät kuitenkin painottivat, ettei pelkästään automaatiolla saavuteta ihmeitä työvoiman saatavuuden osalta. Ensinnäkään puun autokuljetuksen olosuhteisiin ei voida automaatiolla merkittävästi vaikuttaa, vaikka haastavissa olosuhteissa toimimista voisi osin helpottaa. Työnkuvaan liittyy heidän mukaansa automaatiosta huolimatta niin paljon sellaisia työvaiheita, joissa mitataan motivaatio toimia alalla, kuten renkaiden ketjutus, kuorman sitominen, ajoneuvoyhdistelmän kääntäminen ahtaissa kääntöpaikoissa, pimeässä ja kylmässä toimiminen sekä toisinaan kiinnijuuttuneen ajoneuvon irrotus.

Koska automaatiokehityksen ei nähdä poistavan näitä puun autokuljetukseen liittyviä kuljettajien keskuudessa vähemmän pidettyjä työvaiheita, nähtiin puutavara-auton kuljettajan tulevaisuudessakin tarvitsevan vaadittuja ominaisuuksia, kuten periksiantamattomuutta ja ahkeruutta. Yrittäjät näkivät näiden ominaisuuksien kumpuavan vain vahvasta ammatti-identiteetistä ja -ylpeydestä. Vaikka tulevaisuudessa automaatiokehitys helpottaisikin monia työvaiheita, ei puun autokuljetuksen nähty soveltuvan aivan kenelle tahansa, jolloin edelleen ammattiin soveltuvat vain tietyn kaltaiset ihmiset. Tosin soveltuvia voi automaation ansiosta olla nykyistä suurempi määrä.

Automaation avulla uskottiin kuitenkin saavutettavan kuljettajien paremman pysyvyyden alalla, työviihtyvyyden parantumisen sekä työn henkisen ja fyysisen rasittavuuden pienentymisen. Vanhempien kuljettajien arvioitiin pysyvän työkykyisinä pidempään, kun työperäiset tapaturmat ja rasitusvammat vähenisivät.

9 TULOSTEN TARKASTELU

9.1 Tutkimusmenetelmän ja haastattelun tulosten luotettavuuden arviointi

Kaiken kaikkiaan esitettyjen tulosten voidaan sanoa olevan hyvin yleistettävissä Suomen ainespuun kuljetustenantajien, puutavara-ajoneuvovalmistajien, puutavaranojien, tieliikenteen automaatiotutkijoiden sekä liikenneviranomaisten kohdalla eli tulokset ovat ulkoisesti valideja, sillä asiantuntijaryhmien sisällä vallitsi varsin hyvä yksimielisyys käsiteltyjen teemojen suhteen. Haastattelun otos (N=18) on osaltaan riittävä takamaan tulosten luotettavuutta ja yleistettävyyttä. Yleistys tehtiin koskemaan lukumäärällisesti pientä ja rajallista suomalaista asiantuntijajoukkoa, jolloin tulosten yleistettävyys on luotettava. Olisi aivan eri asia yleistää 18 haastattelun tulokset koskemaan koko Suomen kansaa kuin muutaman sadan henkilön kokoista erikoisasiantuntijajoukkoa. 18 haastattelua oli suuri määrä haastateltavia yhdelle henkilölle, joten suuremman otoksen haastattelu olisi vaatinut useita haastatteliijoita. Kuljetusyrittäjien kohdalla tulokset ovat yleistettävissä lähinnä isompiin puun autokuljetusyrittäjiin, joita myös tässä tutkimuksessa haastateltiin.

Tutkimuksessa käytetty laadullinen tutkimusmetodi johti siihen, että tulokset eivät ole numeeristen arvojen lailla eksakteja, vaan enemmänkin suuntaa antavia ja kuvailevia. Toisaalta tulevaisuuden kehityssuuntien ennustamiseen liittyy suuria epävarmuustekijöitä, jolloin numeerinen ilmaisu voisi antaa tulevaisuudennäkymistä liian mustavalkoisen kuvan, etenkin mikäli epävarmuutta ei ole huomioitu. Kirjallisuuskatsauksen ja haastattelututkimuksen yhdistäminen tuotti kokonaisuuden, jossa ainespuun autokuljetusten automaatiota peilataan tieliikenteen automaation kirjallisuuteen. Kirjallisuus teoriaohjaavasti tuotti suunnan tutkimukselle.

Tutkimusaineistoon liittyvä triangulaatio (ks. Luku 7.5) toi riittävästi luotettavuutta tuloksiin, sillä suurimpaan osaan asioista saatiin kaikilta näkemys, vaikka osa haastateltavista painottikin selkeästi omaa vahvuusaluettaan. Näkemykset olivat pääosin varsin yhtenäisiä kaikkien haastatteluryhmien osalta. Toisaalta kapean erikoisalan asiantuntijoiden sisällyttäminen otokseen oli tarkoituksenmukaista, jotta saataisiin syvää erikoistietoa tietyn selvitettävän asian kohdalta, eikä vain yleistietoa. Tämän vuoksi eliittiotannan mukaisesti haastateltaviksi valikoitui eri asiantuntijaryhmiä, kuten esimerkiksi ajoneuvo- ja puutavaranojastusvalmistajat. Haastatteluihin valikoitiin eliittiotannan mukaisesti otos, jossa yhdistyi luotettava asiantuntemus aiheesta. Kuvaavaa luotettavuuden osalta oli kuitenkin se, ettei haastatteluryhmien sisällä eikä välillä esiintynyt merkittävässä määrin näkemyseroja. Voidaan siis sanoa haastateltujen asiantuntijaryhmien sisäisten ja välisten näkemysten olleen yhteneväisiä, mikä tukee asiantuntijaryhmien sisäisen otoskoon ja koko aineiston otoskoon luotettavuutta ja edustavuutta.

Ainoastaan yhden liikenneviranomaisen haastattelu voisi horjuttaa liikenneviranomaisnäkemysten yleistettävyyttä, mutta toisaalta haastateltu liikenneviranomainen edustaa Suomen johtavia tieliikenteen automaation asiantuntijoita. Hänen lausuntonsa eivät olleet ristiriidassa esimerkiksi tieliikenteen automaatiotutkijoiden, eikä kalustovalmistajien näkemysten kanssa. Tämä tukee viranomaisnäkemysten luotettavuutta, sillä tieliikenteen automaatiotutkijat sekä kalustovalmistajat ovat oman työnkuvansa vuoksi hyvin selvillä myös viranomaispuolesta sekä lainsäädännöstä. Viranomaisen haastattelussa ei myöskään esimerkiksi lainsäädäntöön liittyen selvinnyt sellaisia asioita, joita ei olisi selvinnyt jo tutkijoiden sekä kalustovalmistajien haastatteluissa. Täten voidaan todeta

liikenneviranomaisnäkemysten olleen edustava, vaikka haastateltavia viranomaisia olisikin voinutkin olla enemmän.

9.2 Havainnot haastatelluista

Teemahaastatteluiden avulla kerättiin tietoa ja näkemyksiä tutkimusongelmaan ainespuun autokuljetusten automaation nykytilasta, kehitysnäkymistä, automaation kohtaamista haasteista sekä automaatiolla tavoiteltavista hyödyistä. Tässä luvussa tuloksia tarkastellaan teoriaohjaavasti, eli peilataan osin kirjallisuuteen, mutta haastattelun tuloksia ei käytetä kirjallisuuden hypoteesien tai teorioiden testaamiseen. Haastattelujen perusteella voidaan todeta haastateltavien olleen varsin yksimielisiä kysyttyjen asioiden suhteen. Puutavarano- ja kuljetusalan toimijien ja kuljetuksenantajien välillä tuli ilmi painotusero koskien puutavarano- ja kuljetusalan toimijien automaation hyötyjen merkittävyyttä koko ainespuun autokuljetusketjun kannalta. Muutoin näkemyseroja automaation kehitysnäkymistä ei juuri esiintynyt, vaan lähinnä pieniä asenne- ja painotuseroja, mutta niitäkin varsin vähän.

Haastateltavilla oli jo valmiiksi varsin selkeä kuva ainespuun autokuljetusten toimintaympäristöstä. Erityinen havainto oli, että haastatellut tutkijat sekä liikenneviranomaiset olivat ennalta varsin tietoisia ainespuun autokuljetustoiminnan haasteista automaation kannalta, vaikkei heillä ollutkaan varsinaista kosketuspintaa ainespuulogiikkaan.

Joitakin painotuseroja vastauksista löytyi, sillä esimerkiksi ajamisen automaatiotutkijat ja ajoneuvovalmistajat painottivat pääasiassa ajamisen automaatiota ja ajoneuvon hallintaa, kun puolestaan kuormainvalmistajat antoivat lausuntoja koskien puutavara-auton puutavarano- ja kuljetusalan toimijien automaation hyötyjen merkittävyyttä koko ainespuun autokuljetusketjun kannalta. Tutkijoilla, ajoneuvo- ja puutavarano- ja kuljetusalan toimijilla sekä liikenneviranomaisella oli myös erittäin selkeät näkemykset automaation kehitysnäkymistä muihin haastateltaviin verrattuna. Kuljetuksenantajat ja kuljetusyrittäjät puolestaan painottivat hyötyjä muita selkeämmin ja yksityiskohtaisemmin. Haastateltavat painottivat siis niitä aihealueita, joissa he olivat vahvimmillaan ammattiosaamisensa puolesta. Kaikki haastatellut olivat motivoituneita haastatteluun, jolloin uskon haastattelutulosten olevan luotettavia ja edustavan heidän todellisia näkemyksiään.

Suurimpana yllättäjänä olivat ainespuun autokuljetusyrittäjät, sillä heillä oli varsin positiivinen suhtautuminen automaatiota kohtaan, eivätkä heidän näkemyksensä automaation kehityskulusta eronneet huomattavasti esimerkiksi tutkijoiden ja kuljetuksenantajien vastauksista. Tässä tutkimuksessa kuljetusyrittäjät erosivat mielipiteiltään varsin paljon Salosen (2019) tutkimuksen ammattikuljettajien näkemyksistä, joka olivat automaation suhteen varsin epäileviä ja jopa vastustavia. On hyvin mahdollista, että yrittäjien ja kuljettajien näkemykset ovat yleensäkin hyvin erilaisia. Toisaalta tässä tutkimuksessa haastatelluilla puun autokuljetusyrittäjillä on kokemusta myös kuljettajana toimimisesta, sillä he ajavat edelleen tai ovat ainakin aiemmin ajaneet puutavara- tai hakeautoa.

Mahdollisena syynä kuljetusyrittäjien automaatiomyönteisyydelle oli se, että haastatellut yrittäjät olivat olleet aiemminkin erilaisissa tutkimus- ja kehityshankkeissa mukana. Haastatteluihin valikoituneet puun autokuljetusyrietykset olivat myös varsin suuria, sillä yritysten kalustoon kuului useita ajoneuvoyhdistelmiä. On mahdollista, että isommat kuljetusyrietykset pohtivat pienempiä yrityksiä enemmän tulevaisuudennäkymiään ja täten suunnittelevat toimintaansa vastaamaan tulevaisuuden haasteita enemmässä määrin kuin pienet autokuljetusyrietykset, joiden kalustovahvuuteen kuuluu esimerkiksi vain yksi puutavara-auto. Erityisesti isommilla kuljetusyrietyksillä korostuu kuljettajien työssä viihtyvyys tärkeänä asiana ja siihen halutaan panostaa. Kuljettajia ollessa enemmän syntyy myös kuljettajien välisiä eroja tehokkuuden ja polttoainetalouden suhteen, mitä halutaan erilaisin ratkaisuin pienentää.

9.3 Ainespuun autokuljetuskaluston automaation nykytila ja kehitysnäkymät

Ainespuun autokuljetuskaluston ajamiseen keskittyvän automaation nykytila on tuonut jo paljon hyötyjä polttoainetalouden ja sen kuljettajakohtaisten erojen kaventamisessa, turvallisuudessa, työviihtyvyydessä sekä ajoneuvokaluston kestävyyydessä. Puun autokuljetuskaluston ajamisen automaation ja osin myös sähköhydraulisten puutavaranostureiden nykytila on lupaava alku automaation jatkokehitykselle, sillä nykyisen käytössä olevan teknologian päälle on mahdollista laajentaa automaation kattavuutta toiminnoissa. Osa kuorma-autoista sekä puutavaranostureista hyödyntää ohjausteknologiaa, joka tällä hetkellä mahdollistaa etäohjauksen ja automaatioasteen kasvaessa myös automaattisten toimintojen etävalvonnan. Puutavara-autojen uusiutumiskierron nopeus on pitänyt huolen

kaluston pysymisestä ajanmukaisena sekä edistänyt alemman tason automaatiojärjestelmien käyttöönottoa puutavara-autoissa. Puutavaranosturia tosin ei vaihdeta ajoneuvon mukana, vaan samaa puutavaranosturia käytetään yleensä monen ajoneuvon eliniän ajan, mikä hidastaa niiden osalta uuden teknologian käytössä yleistymistä.

Puutavaranosturien automatisoimiseksi on paljon haasteita tiedossa, sillä merkittävä osa käytössä olevista nostureista on edelleen mekaanishydraulisia, johtuen niiden hankintakustannuksen edullisuudesta ja teknologian toimintavarmuudesta verrattuna sähköohjattuihin kuormaimiin. Ensimmäinen suuri haaste liittyykin käytössä olevien mekaanishydraulisten nostureiden korvaamiseen sähköohjatuilla puutavaranostureilla, joita on mahdollista myös automatisoida. Ensimmäisenä automaatioaskeleena olisi esimerkiksi puutavaranosturin kärkiohjaus. Sähköohjaus mahdollistaa myös puutavaranosturin operoinnin ajoneuvon ohjaamosta tai jopa etänä. Myöhemmin automaatioasteen kasvaessa nosturin automaattisia syklejä voitaisiin valvoa ajoneuvon ohjaamosta tai etänä. Puutavaraajoneuvoihin verrattuna puutavaranosturien automaation kehitys on aivan alkutekijöissään, sillä toisin kuin nostureissa, puutavara-ajoneuvoissa on jo tällä hetkellä laajalti käytössä kehittynyttä teknologiaa, jonka pohjalta voidaan varsin kohtuullisin askelin lisätä automaation kattavuutta. Puutavaranosturien puolella vaadittavat kehitysaskleet ovat puolestaan suurempia. Tosin vaatimukset esimerkiksi turvallisuuden kannalta nähtiin ajoneuvojen kohdalla paljon tiukemmiksi kuin työkoneiden kohdalla, joten puutavaranostureiden automaation kehittämisessä olisi edellytykset suuremmille kehitysharppauksille. Puutavara-auton automaation kehittäminen tulee tulevaisuudessa tarvitsemaan eri toimijoiden (kuorma-auto-, puutavaranosturi-, automaatiojärjestelmä- ja perävaunuvalmistajat) välistä vuoropuhelua kokonaistaloudellisten ratkaisuiden aikaansaamiseksi. Tällä tarkoitetaan tehokkaiden ja keskenään yhteensopivien ratkaisuiden kehittämistä. Nykyisin puutavaranostureita ei oteta suuremmin huomioon itse ajoneuvoa suunniteltaessa.

Seuraavaksi esitetyt kehitysnäkymät seuraavan 3–5 vuoden ja yli 5 vuoden päästä ovat asiantuntijoiden arvioita. Automaation todellinen käyttöönottonopeus kuitenkin määrittää kullakin ajanjaksolla käytössä olevan automaatiotason puutavaranosturin, ajoneuvon sekä terminaalitoimintojen osalta. Investoinnit automaatioteknologiaan ovat taloudellisesti merkittäviä, joten niiden tuottamia hyötyjä punnitaan tarkasti järjestelmien kustannuksiin nähden. Puun autokuljetuksen automaation todellinen käyttöönottonopeus saattaa

hyvin olla tässä tutkimuksessa esitettyä hitaampaa, sillä käyttöönoton vaatimuksena ovat turvalliset sekä toimintavarmat järjestelmät, joiden kehittäminen on osoittautunut haastavaksi. Kuten Liikenne- ja viestintäministeriön (2020) arviomuistiossa todetaan, yleisesti tieliikenteenkin osalta automaation kehitysnäkymiä on jouduttu muuttamaan maltillisemmiksi viime vuosien aikana, sillä automaatiokehitys edes henkilöautojen ja kappalettavaran maantiekuljetusten osalta ei ole ollutkaan niin nopeaa kuin alunperin uskottiin. Toisaalta alkukehitys onkin usein hidasta. Pidemmälle, yli 5 vuoden päähän ennustaminen nähtiin vaikeana. Erityisen varovaisia pidemmän ajan ennusteissaan olivat haastatellut tutkijat. Turvallisuus on tällä hetkellä teknologiaa rajoittavampi tekijä automaatiokehityksessä, sillä automaatiojärjestelmien turvallinen toiminta on ensisijainen vaatimus.

Turvallisen toiminnan ollessa automaatioteknologioiden käyttöönoton ehdoton edellytys, saavutetaan automaation kehitysaskleet ja käyttöönotto ensimmäiseksi suljetuilla alueilla, kuten myös julkaisuissa (ERTRAC 2017, 2019 b) todetaan. Tästä kaikilla haastatelluilla oli vahva yksimielisyys. Turvalliseen toimintaan liittyvät paljolti teknologian kyky havaita ympäristöä, sen toimintavarmuus eri olosuhteissa sekä järjestelmien päätöksentekokyky (Taulukko 12). Avoimilla teillä kehitys on suljettuja alueita hitaampaa. Suljetuilla alueilla pystyttäessä hyödyntämään korkeamman tason automaatiota kuin avoimilla alueilla, ovat myös automaation tarjoamat hyödyt esimerkiksi turvallisuuden, tehokkuuden ja kustannusten suhteen paljon merkittävämpiä kuin avoimilla tiealueilla. Avoimista alueista hyvin kunnossapidetyillä maanteillä, kuten moottoriteillä, tapahtuu nopein automaation kehityskulku. Aluksi avoimen alueen automaatiojärjestelmät soveltuvat käytettäväksi vain hyvissä olosuhteissa, niiden ODD:n ollessa varsin rajoittunut käyttöolosuhteiden suhteen.

Ensimmäisen 3–5 vuoden aikana yleistyvät ajoneuvon ajamisen automaation osalta avoimessa ympäristössä SAE-tasojen 1–2 ratkaisut (Taulukko 11). Tason 2 ODD rajaa järjestelmien käytön vain hyviin olosuhteisiin ja lähinnä moottoriteille. Suljetuissa ympäristöissä ajoneuvojen ja kuormanpurkukoneiden osalta otetaan käyttöön ensimmäiset tasojen 3–5 automaatiojärjestelmät, joskin alkuvaiheen käyttöönotto ja teknologian yleistyminen on todennäköisesti hidasta. Puutavaranosturit todennäköisesti tulevat edustamaan tasoa 1 kärkeäohjausautomaatiolla varustettuna. Etenkin pyöreän puutavaran kuormaus tienvarsivarastosta nähtiin haastavaksi erimittaisten puutavaralajien ja tienvarsivarastojen

ahtauden vuoksi. Metsätieverkolla automaation soveltamisen haastavuuden vuoksi tul-
laan hyödyntämään SAE-tason 0 kuljettajan informaatiojärjestelmiä, jotka tukevat kuljet-
tajaa mm. tiestö- ja olosuhdetiedolla. Joukkoistettu tiedonkeruu, taustajärjestelmät (sää-
tieto), dynaamiset mallit (esim. tiestön kantavuusmallit) ovat edellä mainituissa järjestel-
missä oleellisia.

Taulukko 11. Kehitysnäkymät puun autokuljetuskaluston osalta eritellysti ajoneuvon ja puutavaranosturin
osalta käyttöympäristöjen mukaan. Ajoneuvon kohdalla automaatiotasolla viitataan SAE-tasoluokituk-
seen ja puutavaranosturin osalta tässä työssä laadittuun puutavaranosturien automaation tasoluokituk-
seen. *Kyseisten tasojen sovelluksia vielä lähinnä testauskäytössä, eikä käyttöönotto vielä kovin laajaa.

| | | Nykytila | 3-5 vuotta | Yli 5 vuotta |
|------------------|--------------------|----------------|------------|--------------|
| | | Automaatiotaso | | |
| Ajoneuvo | Metsä- ja soratiet | 0 | 0 | 1-2 |
| | Maantiet | 1 | 1-2 | 1-4 |
| | Puutermiinaalit | 0 | 3-5 * | 3-5 |
| Puutavaranosturi | Kuormaus | 0 | 0-1 | 1-2 |
| | Purku | 0 | 0-1 | 1-2 |

Yli 5 vuoden kuluttua avoimilla tiealueilla ajamisen automaatiojärjestelmät tulevat mah-
dollisesti edustamaan SAE-tasoja 1–4. Tasojen 3–4 automaatio rajautuu kuitenkin va-
kioiteittien raakapu- ja sivutuotehakkeen kuljetuksiin hyvissä olosuhteissa ja hyväkun-
toisilla moottoriteillä käytettäväksi (Taulukko 11). Samanaikaisesti alempien tasojen 1–
2 ODD laajenee käytettäväksi moninaisemmissa olosuhteissa sekä kapeilla ja huonokun-
toisemminkin teillä ja jonakin haastatteluissa määrittelemättömänä ajankohtana saadaan
kyseisten automaatiotasojen toimintoja myös metsätieajamiseen. Automaatiojärjestel-
mien toimintavarmuutta haastavammassa olosuhteissa parantaa osaltaan sensoriteknolo-
gian kehittyminen. Ajoneuvon poikittaissuuntaisen kontrolloinnin perustuessa esimer-
kiksi laserkeilainteknologiaan, mahdollistaa se järjestelmien toimivuuden myös teillä,
joilta tiemerkinnot puuttuvat, kuten sorateilla. Sivutuotehakkeen kuljetuksissa automaa-
tion soveltaminen arvioitiin yksinkertaisimmaksi, sillä kuljetusreitit pysyvät aina lähes
tulkoon samoina ja reitti sijoittuu täysin asfalttipäällysteisille teille. Yli 5 vuoden kuluttua
suljetuilla alueilla ovat laajalti yleistyneet tasojen 3–5 automaatio ajoneuvojen sekä pur-
kukoneiden osalta. Mikäli kuljettaja voisi tehdasalueella antaa ajoneuvon ajamisen ja
kuorman purkamisen automaation ja erillisen etävalvojan tehtäväksi, voisi kuljettaja

levätä tämän ajan tai tehdä suunnittelevaa työtä. Ajoneuvon puutavaranoasturi tulee edustamaan automaatiotasoa 2, jolloin noasturin liikkeiden suoritus on automatisoitu ja kuljettajan tehtävänä on ainoastaan valvoa lastaus- ja purkutoimintoja sekä tarvittaessa puuttua niihin.

Näyttää siltä, että kehitysnäkymät etenevät suurin piirtein Arolan ja Antikaisen (2017) esittämällä tavalla (ks. Kappale 4.3), jonka mukaan ensiksi yleistyvät tuki- ja taustajärjestelmät, seuraavassa vaiheessa puoliautomaattiset toiminnot, joista myöhemmin siirrytään täysautonomisiin ratkaisuihin. Toisaalta Arolan ja Antikaisen (2017) luokitus on kärkeä, kuten he itsekkin ilmaisivat. Luokitus ei ota suoraan huomioon merkittävinä koettuja SAE-tason 4 ratkaisuja, jotka kieltämättä ovat hyvin lähellä täysautonomiaa, mutta joiden ODD on kuitenkin rajallinen.

Ajoneuvojen manuaalinen etäohjaus näyttää jäävän vähemmälle sekä kehitystyössä että käyttöönotossa, sillä jatkuvaa etäohjausta ei nähdä mielekkäänä kehityssuuntana. Jatkuvan etäohjauksen avulla ei arvella saavutettavan riittäviä parannuksia kustannustehokkuuden suhteen. Myös turvallisuuden osalta etäohjaukseen liittyy paljon haasteita, esimerkiksi tiedonsiirron toimintavarmuus, etenkin avoimessa ympäristössä toimittaessa. Etäohjauksen sijaan etähallinta ja etävalvonta tulevat näyttämään suurempaa osaa automaatiokehityksessä, sillä niissä automaattisia ajo- ja kuormaustoimintoja lähinnä valvotaan ja vain tarpeen vaatiessa suoritetaan etäohjaus manuaalisesti. Suuressa mittakaavassa etäohjaaminen voikin olla ainespuun autokuljetuksen automaatiokehityksessä lähinnä siirtymävaiheen ratkaisu, jos sitäkään.

Etävalvonta mahdollistaa tehokkuus- ja kustannushyötyjen saavuttamisen, kun yksi etävalvoja voi valvoa useaa konetta tai ajoneuvoa samanaikaisesti. Ensimmäisenä etävalvonta tulee käyttöön kuorman purkukoneisiin ja puutavara- tai hakeajoneuvon ajamiseen suljetuilla alueilla, joilla automaatio ylipäänsä on turvallisinta alkuvaiheessa toteuttaa. Viimeisimpänä etävalvonta tulee käytettäväksi todennäköisesti maantie- ja metsätieympäristöihin. Etävalvontaan ja -ohjaukseen avoimilla alueilla liittyy tiedonsiirron haaste, mikä vaatii tiedonsiirron lyhyen viiveen (latenssi) ja suuren tiedonsiirtokyvyn yhteydet, esimerkiksi 5G-teknologian. Kuitenkin tällaisten verkkojen laajentuminen myös metsätiealueet kattavaksi arveltiin kestävän todella kauan. Täten etähallinta pääteitä sekä

suljettuja alueita ja kaupunkeja lukuun ottamatta voi olla mahdollista vasta useiden kymmenien vuosien kuluttua.

Kirjallisuuskatsauksessa esitetyt ERTRAC:in (2019 a) raskaan liikenteen kehitysnäkymät (Luku 4.3) osoittautuivat varsin yltiöpositiivisiksi Suomen ainespuun autokuljetuksen kontekstissa, sillä haasteet etenkin alemmalla tieverkolla sekä metsä- ja sorateillä ajamisessa, joita Suomen tieverkosta on merkittävä osa, ovat suuria. Kyseisiä tieympäristöjä ei ole edes mainittu automaation tiekartoissa, kuten ei myöskään puun autokuljetuksia ylipäätään. On myös havaittava, ettei tällä hetkellä Suomessa ole edes suljetuilla terminaali- ja tehdasalueilla otettu vielä laajalti käyttöön autonomisia puutavara- tai hakeautoja yksittäisiä testaushankkeita lukuun ottamatta, kuten voisi ERTAC:in (2019 a) tiekartasta ymmärtää (Kuva 6).

Sikäli näkemyksissä kehityssuunnan suhteen vallitsi yksimielisyys haastateltujen sekä kirjallisuuden suhteen, että ajoneuvokaluston automaatiokehitys avoimilla alueilla painottuu etupäässä maantieympäristöihin, kuten muun muassa Kyytinen ym. (2017) ja ERTRAC (2019 a) toteavat. Täten puun autokuljetusten keskeinen toimintaympäristö eli metsätiet eivät ole ensisijaisena kohteena raskaan liikenteen automaatiolle. Toisaalta pelkästään maantieympäristöihin painottuva automaatio voi tuoda puun autokuljetustoiminnalle riittävästi hyötyjä polttoainetalouden ja turvallisuuden kannalta, sillä puun autokuljetuksessa maantiet muodostavat merkittävän osa kuljetusmatkoista. Täten maantieautomaation hyödyt voivat osoittautua riittäviksi automaation käyttöönoton kannalta ainakin alkuvaiheessa järjestelmien ODD-rajoittuneisuudesta huolimatta. Ovathan maantiekäyttöön painottuvat automatisoidut vaihteistot ja älykkäät mukautuvat vakionopeudensäätimetkin tuoneet yrittäjille siinä määrin polttoaine- ja työviihtyvyyshyötyjä, ettei monikaan haastateltu kuljetusyrittäjä haluasi niistä luopua.

Hyötyjen lisäksi myös hankinta- ja ylläpitokustannuksilla sekä laitteiden elinkaarella on suuri vaikutus automaation käyttöönottoon ja yleistymiseen. Voi myös olla, että tulevaisuudessa puutavara-autojen kehityssuunta maantieautomaation ehdoilla luo tarpeen metsäteillä operoivalle erikoisajoneuvokalustolle. Tällainen metsäteille soveltuva ajoneuvo voisi olla pitkälle autonominen maastokuorma-auton alustalle perustuva puutavara-auto.

9.4 Automaation mahdollisuudet, haasteet ja kehitystarpeet ainespuun autokuljetuksessa

Tällä hetkellä sensoriteknologia ja järjestelmien päätöksentekokyky ovat kuitenkin edistyneisyydestään huolimatta suuria haasteita automaation toiminnalle avoimilla tiealueilla ja vaihtelevissa olosuhteissa (Taulukko 12). Älykkäät järjestelmät voisivat tiedonkäsittely- ja ennakointikykynsä puolesta soveltua avoimen ympäristön ajamisen olosuhteisiin laajaltikin, mutta niiden toiminnan verifiointin ollessa käytännössä mahdotonta, ei niitä ehkä kovin nopeasti tulla ottamaan käyttöön. Ajoneuvossa älykäs järjestelmä yhdessä suuren laskentakapasiteetin kanssa voi tarkoittaa myös suurentunutta energiankulutusta.

Suomen tieverkko talviolosuhteineen ja erityispiirteinen on suuri haaste automaattiselle ympärivuotiselle ajamiselle, sillä Nybergin (2010) mukaan tieliikenteen kannalta haastavimmat talviolosuhteet ovat kovan pakkasen lauhtuminen, alijäähtyneen veden sataminen sekä nollan tuntumassa tapahtuva lämpötilavaihtelu. Fyysisen infrastruktuurin kunto voi rajata korkeamman ajamisen automaation käytettäväksi lopulta varsin rajalliselle osalle Suomen tieverkkoa, kuten julkaisuissa Innamaa ym. (2015), Liikenne- ja viestintäministeriö (2020), Kulmala ym. (2019) todetaan. Esimerkiksi letka-ajon tehokkuus voidaan parhaiten saavuttaa vain 2+2-kaistaisilla moottoriteillä, joita Suomessa on vain 900 km, vaikka teknisesti letka-ajon toteuttaminen onkin mahdollista jopa taajama-alueilla. Letka-ajossa myös kuljetusmatka pitää olla pitkä, jotta letka-ajon vaatima suunnittelutyö tuottaisi hyötyä.

Digitaalinen infrastruktuuri ja verkottuneisuus ovat ainoastaan automaattista kuljetusta tukevia sekä tehostavia tekijöitä, eikä ajoneuvon turvallisuus saa olla yksin niistä kiinni, mikä nousi esiin sekä haastatteluissa että kirjallisuudessa (ERTRAC 2019 b, Kulmala ym. 2019). Ajoneuvojen verkottuminen (V2I, V2V ja V2X) koettiin tarpeellisena ainespuun autokuljetusten automaatiokehityksessä (Taulukko 12) ja etenkin letka-ajamisessa tehokkuuden ja turvallisuuden lisäämisessä. Tiedonsiirron turvallisuuden osalta on kuitenkin olemassa huoli tietojen tai ajoneuvon hallinnan kaappauksesta, kuten mm. Arola ja Antikainen (2017) nostivat esille.

Taulukko 12. Puun autokuljetuksen automaation mahdollisuudet ja kehitystarpeet. Merkintä (+/-) tarkoittaa hyödyn omaavan sekä positiivisen, että mahdollisesti myös negatiivisen vaikutuksen.

| | Teknologia | Infrastrukturi | Lainsäädäntö | Vastuut | Hyväksyttävyyys |
|----------------|---|--|---|--|--|
| Mahdollisuudet | Verkottuneisuus | Digitaalinen infrastrukturi | Mahdollistaa laajat kokeiluhankkeet | | Nuoret ja teknologia orientoituneet kuljettajat |
| | Etähallinta | Verkottuneisuus (V2I) | Lainsäädäntö ei aseta suuria rajoitteita | | Sukupolvenvaihdos |
| | Energiatalous (+/-) | Suljetut ympäristöt | | | Näytöt ja testihankkeet (henkilökohtaiset kokemukset) |
| | | | | | Tiedottaminen |
| Haasteet | Toimintavarmuus | Suomen tieverkon kunto ja olosuhteet | Lainsäädännön epämääräisyys | Vastuiden epämääräisyys (SAE-taso 3) | Ajoneuvon hallinnan tunteesta pitävät kuljettajat (mieltymykset) |
| | Ympäristön hahmottaminen ja ODD:n rajoittuneisuus | Talvikunnossa-pidon laadun vaihtelu | Automaattisten ajoneuvojen suunnitteluohjeiston puute | Onko mahdollista levätä/tehdä muuta työtä ja samalla pysyä tilanteesta selvillä? | Alkusuhtautuminen |
| | Ennakointi | Metsätieverkko | Lainsäädäntö sovellettu perinteisille ajoneuvoille | Kalustovalmistajien halukkuus ottaa ajamisen vastuuta | Näytöt teknologian toimintavarmuudesta |
| | Komponenttien hinta | Sivutuotehakkeen lastaus- ja purkuinfrastrukturi | Ajo- ja lepoaikalaainsäädäntö | Älykkäät järjestelmät (verifiointi) | Toimintaympäristön haastavuus |
| | Liikenneturvallisuus | | | Automaattisten ajoneuvojen katsastus | Katteettomat lupaukset |
| | Tietoturva | | | | Lainsäädännön ja vastuukysymysten epäselvyydet |
| | Mekaanishydraulisten puutavaranostureiden suosio | | | | |

Toisin kuin Liikenne- ja viestintäministeriön (2020) dokumentissa mainitaan, eivät metsä- ja yksityistiet olekaan välttämättä suljettu ympäristö, ellei niitä ole puomein erotettu muusta tiestöstä. Automaation kannalta yksikin satunnainen vastaantulija sekä vaikeat tieolosuhteet ovat suuria haasteita ja nämä tekijät eivät kuulu varsinaisen suljetun alueen tunnusmerkistöön. On myös otettava huomioon, että mikäli yksityistie on saanut julkista rahoitusta, estää se monissa tapauksissa tien käytön kieltämisen ulkopuolisilta ja täten tien sulkemisen puomein (Yksityistielaki (13.7.2018/560)). Metsäteille suunnatussa ajamisen automaatiOSSakin tapahtuu yli viiden vuoden aikajänteellä kehitystä, mutta tarkempaa ajankohtaa ei haastatteluissa osattu arvioida. Ongelmana on, ettei metsäteillä ajoneuvon nopeutta voida sovittaa pelkästään liikenteen mukaan, kuten usein maanteillä, vaan ajoneuvon ajonopeuden määrittävät lisäksi tien mutkaisuus, kapeus, kantavuus, pito-

ominaisuudet sekä kuljetettava kuorma. Edellä mainitut asiat lisäävät merkittävästi haastetta automaattiselle ajamiselle metsätieverkolla, jolla olosuhteiden vaihtelu on suurta.

SAE-tason 3 käyttöönotto ainakin avoimessa ympäristössä näyttää jäävän väliin, sillä kuljettajan (dynaamisen ajamisen varasuorittaja) ja järjestelmän välisiä vastuita on vaikea määrittää. Epäselvää on, onko kuljettaja automaation suorittaessa dynaamista ajotehtävää matkustaja vai tarkkailija, pitääkö kuljettajan olla jatkuvasti varuillaan mahdollisen toimintahäiriön varalta ja voiko automaattisen ajamisen aikana tehdä muuta työtä ja silti säilyttää valmiuden puuttua äkkinäisiin järjestelmien toimintahäiriöihin. Asia on noussut esille sekä haastatteluissa että kirjallisuudessa (Automotive News 2019, Kulmala ym. 2019). Haastatteluissa automaatiojärjestelmien nähtiin myös tarpeellisina varoittaa kuljettajaa riittävästi ennakoon ajovastuun siirrosta kuljettajalle, mitä myös SAE International (2017) painottaa.

Ainespuun autokuljetuksessa esiintyvien erilaisten ajoympäristöjen ja -olosuhteiden vuoksi sekä automaatiojärjestelmien ODD-rajoitteista johtuen puun autokuljetuskalustoon tulee samanaikaisesti käytettäväksi eri SAE-tasojen järjestelmiä, joilla kullakin on oma ODD:nsa (ks. Kappale 8.3.1). ODD-rajoitteista seuraa myös dynaamisen ajotehtävän siirrot automaatiojärjestelmien ja kuljettajan välillä ajon aikana olosuhteiden muuttuessa (ks. SAE International 2018). Dynaamisen ajotehtävän siirtyessä kokonaan tai osittain, siirtyy samalla mahdollisesti myös vastuu järjestelmän ja kuljettajan välillä, esimerkiksi siirryttäessä SAE-tason 4 järjestelmistä tason 1 järjestelmiin. SAE Internationalin (2018) mukaan tasolla 4 järjestelmä on täydessä vastuussa dynaamisen ajotehtävän sekä varaajamisen suorittamisesta ODD:n mukaisissa olosuhteissa käytettäessä, kun tasolla 1 päävastuullinen on kuljettaja. Mitä suurempi kirjo eri ajoympäristöjä, sitä enemmän siirtoja vastuiden osalta tapahtuu. Erityisesti raakapuun autokuljetuksissa tienvarsivarastosta tehtaalalle esiintyy suurempi määrä eri ympäristöjä kuin vakioireiteillä raakapuun kuljetuksessa terminaalien ja tuotantolaitosten välillä sekä sivutuotehakkeen ajossa tuotantolaitosten välillä. Täten sivutuotehakkeen autokuljetuksissa ja raakapuun terminaaliajoissa automaation hyödyntäminen on helpompaa nopeammalla aikataululla.

Lainsäädännön ei nähty rajoittavan ajamisen automaation etenemistä ainakaan lähitulevaisuudessa, joten nykyiselläänkin sen arvioitiin mahdollistavan monipuoliset testaus- ja

käyttöönottohankkeet, kuten Arola ja Antikainen (2017) sekä Kulmala ym. (2019) mainitsevat, vaikka ajoneuvolle edelleen vaaditaankin lain osalta vastuunalainen kuljettaja. Kuitenkin tarpeet lakimuutoksiin teknologisen kehityksen edetessä on otettava huomioon lainsäädännössä, jotta laki pystyy mukautumaan automaatioteknologian kehitykseen siten, että se mahdollistaa automaation käyttöönoton ja automaation tarjoamien hyötyjen saavuttamisen.

Tällä hetkellä arvellaan SAE-tasojen 1–3 automaatiojärjestelmien ylimmäksi vastuulliseksi ajoneuvon kuljettaja. Tulevaisuuden kannalta on lainsäädännön osalta epäselvää, voidaanko kuljettajan vastuuta poistaa täysin SAE-tasoilla 4–5, vaikka automaatiojärjestelmät teknisin osin vastaisivatkin ajamisesta täysin vai vaaditaanko edelleen tulevaisuudessa lainsäädännön (Tieliikennettä koskeva yleissopimus 30/1986) puolelta jopa tason 4–5 ajoneuvoille vastuunalainen kuljettaja. Haastatteluissa nähtiin kuljettajan ylimmän vastuun säilyvän ainakin niin kauan, kuin hänellä on päätävältä järjestelmien käytöstä. Epäselvää on myös, mahdollistuuko lain puolesta ajonaikainen lepo tai muun työn tekeminen, jota mm. Brizzolara ja Toth (2016) sekä Janssen ym. (2015) pitivät mahdollisena. Loogista kuitenkin olisi, ettei tällaista automatisoidussa ajoneuvossa mukanaoloa tai tarkkailua laskettaisi ainakaan varsinaiseksi ajoajaksi. Oleellista varmaankin ajoajan määrittelyssä on se, kuinka paljon automaattisen ajamisen tarkkailu rasittaa kuljettajaa verrattuna tavalliseen SAE-tasojen 0 ja 1 ajamiseen. Suomen ajoikalainsäädännön pohjautuessa EU-lainsäädäntöön tulevat mahdolliset muutostoimenpiteet olemaan merkittäviä ja aikaa vieviä.

Kuljetusyrittäjien hyväksyntä automaatiojärjestelmien osalta osoittautui paremmaksi kuin kuljettajien Salosen (2019) ja Penttisen ym. (2019) tutkimuksissa. Salosen (2019) kanssa samassa linjassa olivat kuitenkin kuljetusyrittäjien näkemykset metsäteiden soveltuvuudesta automaattiselle ajamiselle, sillä tässä tutkimuksessa haastatellut yrittäjät näkivät automaation toiminnan todella haastavana erityisesti metsä- ja sorateilla. Automaatiota haastatellut yrittäjät näkivät mahdollisena soveltaa etenkin maanteille ja myös suhtautuivat siihen positiivisen odottavasti. Maanteiden ollessa myös kuorma-autojen valmistajien automaatiokehityksen painopisteenä tulevat pidemmälle kehittyneet automaatiojärjestelmät suuntautumaan lähinnä maanteille ainakin alkuvaiheessa. Täten

automaatiojärjestelmien toimivuuden osalta voidaan saada positiivisia käyttökokemuksia, kun käyttöympäristö ei muodostu järjestelmille liian haastavaksi.

Automaatiota lisättäessä suurimmat haasteet liittyvät automaation toiminnan turvallisuuteen, hyväksyttävyyteen sekä automaatiojärjestelmien kalliimmiksi arvioituihin kustannuksiin. On huomattava, että haastatellut asiantuntijaryhmät painottivat automaation haasteita ainespuun autokuljetuksessa. He myös kertoivat niistä oma-aloitteisesti paikoin hyvinkin yksityiskohtaisesti, toisin kuin hyödyistä, joiden osalta vastauksia piti tarkentaa lisäkysymysten avulla. Tämä mahdollisesti kertoo sen, että toimintaympäristön ominaispiirteistä ollaan hyvin tietoisia, jolloin myös mahdolliset ongelmakohdat ovat ajattelussa pinnalla. Toisaalta automaatiokehityksessä haasteet ja olosuhteet ovatkin järjestelmien suunnittelun lähtökohtana määriteltäessä ODD-ympäristöjä. Tämä haastateltujen ongelmalähtöinen lähestymistapa voi täten enemmän painottaa tämän tutkimuksen tuloksista haasteita kuin hyötyjä. On myös otettava huomioon, että monet kartoitetuista hyödyistä eivät ole vielä tällä hetkellä saatavissa ainespuun autokuljetusten toimintaympäristössä tai vain hyvin rajoitetusti, jolloin tavoiteltavista hyödyistä puhuminen voi tuntua kaukaiselta ja epämääräiseltä. Tavoiteltavista hyödyistä parhaiten osasivat kertoa kuljetuksenantajat ja kuljetusyrittäjät. Ajoneuvojen polttoainetalouden parantuminen automaation avulla oli hyödyistä yksityiskohtaisimmin kuvailtu, johtuen mahdollisesti siitä, että merkittäviä polttoainehyötyjä on ollut jo saatavilla SAE-tason 1 älykkäiden vakionopeuden säätimien ansiosta. Voidaan todeta, että monet haasteista ovat tällä hetkellä paremmin tiedossa kuin hyödyt tai ainakin haasteiden vaikutus automaatioon tunnetaan tai voidaan edes paremmin arvioida.

Hyväksyttävyyden saavuttamisessa todennäköisesti kuljettajien alkuvastustuksen ylittäminen on suurin kynnys, jonka jälkeen positiivisten käyttökokemusten kautta automaatiojärjestelmät todetaan kuuluvaksi nykyaikaiseen kuljetuskalustoon, aivan kuten aikanaan automatisoidut vaihteistotkin. Turvallisuuden suhteen automaatiokehitys tulee toteuttaa turvallisuus edellä ja sopivan pienin askelin. Valmistajien on myös varottava antamasta liian suuria lupauksia automaation tehokkuuden ja turvallisuuden osalta, sillä ne kostaavat ensimmäisten vakavien järjestelmäperäisten onnettomuuksien seurauksena, jolloin vastustus automaatiota kohtaan voi voimistua. Hyväksyttävyyden suurin kynnys kuljettajien osalta voivat olla SAE-tason 2 automaatiojärjestelmät, jolloin kuljettajien

tehtäviä siirtyy merkittävässä määrin järjestelmien vastuulle. Hyväksyttävyyden saavuttamisessa olennaista on ottaa yrittäjät sekä kuljettajat mukaan automaatiojärjestelmien kehitystoimintaan ja kuulla heidän näkemyksiään. Eri tahojen yhteiskehityksen avulla voitaisiin paremmin saada aikaan haastavissa olosuhteissa toimivia kokonaistehokkaita järjestelmiä, joissa myös yrittäjien ja kuljettajien tarpeet tulee huomioiduksi.

Kuten aiemmin todettiin, hyväksyttävyys automatisoidummalle kalustolle hankitaan konkreettisten näyttöjen kautta ja tarjoamalla mahdollisuus kuljettajille ja kuljetusyrittäjille päästä testaamaan uusia laitteita. Täten tärkeänä toimenpiteenä on erilaisten pilottihankkeiden käynnistäminen puun autokuljetusketjun automaation osalta. Ensimmäisessä vaiheessa automaation nopeimman kehityksen tapahtuessa suljetuilla terminaalialueilla, tulee yrittäjille sekä muille sidosryhmille järjestää tilaisuuksia tutustua terminaal- ja tehdasvastaanoton automaation pilottihankkeisiin ja päästä seuraamaan niitä. Myös tiedottaminen hankkeista eri kanavien kautta edistää tietoisuutta automaatiosta ja mahdollisesti myös hälventää perättömiä ennakkoluuloja. Automaatiokehityksen ollessa nopeinta suljettujen alueiden toiminnoissa, tulee esimerkiksi tehdasalueella autonomisesti liikkuvan puutavara-auton toimintaa pilotoida. Hakeajoneuvon kohdalla vastaavaa pilotointia onkin jo tehty Stora Enson toimesta Uimaharjun tehtaalla (ks. Stora Enso 2020). Puutavara-auton puutavaranosturin kärkehjauksen vaikutusta tuottavuuteen sekä kustannustehokkuuteen tulee tarkastella ja vertailla teknologian suoritusta perinteisiin kuormaimiin.

9.5 Automaatiolla tavoiteltavat hyödyt ainespuun autokuljetuksessa

Ainespuun autokuljetuksessa, kuten yleensäkin tieliikenteessä automaation käyttöönottoa puoltavat tavoitteet turvallisuuden, tehokkuuden ja polttoainetalouden (Innamaa ja Kuisma 2018, Arola ja Antikainen 2017, Kulmala ym. 2019, ERTRAC 2019 a, Slowik ja Sharpe 2018, Nowakowski ym. 2015) sekä kuljettajien työssä viihtymisen parantamiseksi (Slowik ja Sharpe 2018, ERTRAC 2012, Nowakowski ym. 2015). Kustannustehokkuus nousi esille merkittävänä mittarina arvioitaessa automaatiojärjestelmien soveltuvuutta puun autokuljetustoimintaan. Suurimmat automaation hyödyt tehokkuuden, polttoainetalouden, turvallisuuden sekä henkilökustannusten osalta ajoneuvoissa, puutavaranostureissa sekä kuomanpurkukoneissa nähtiin saavutettavan vasta etähallituilla tasoilla 3–4 sekä tason 5 autonomisilla ratkaisuilla. Etähallinta mahdollistaa kustannussäästöjä, kun

yksi etävalvoja voi valvoa samanaikaisesti usean ajoneuvon tai työkonteen toimintaa. Etähallinta myös lisää kaluston tehokkaan käytön osuutta työajasta.

Järjestelmien ODD:n rajoittuneisuus kuitenkin vaatii ihmiskuljettajan päättämään vielä varsin pitkään automaatiojärjestelmien käytöstä. Vaikka automatisoidusti pystytäänkin ennakoimaan monia asioita ihmiskuljettajaa paremmin ja välttämään inhimillisiä virheitä, on järjestelmillä vielä paljon heikkouksia ajoympäristön ja -tilanteiden tulkinnassa ja täten myös niiden ennakoimisessa. Esimerkiksi tien pinnan liukkauden ennustaminen on tällä hetkellä järjestelmien haasteena (Lumiaho ja Malin 2016, Ventä ym. 2016). Inhimillisten virheiden poisto on kuitenkin itsessään jo merkittävä turvallisuusparannus, sillä ERTRAC:n (2012) mukaan esimerkiksi maantieliikenteen onnettomuuksista 95 % arvelaan johtuneen inhimillisestä virheestä. Erityisesti inhimillisen virheen poistosta hyötyisivät nuoret alle 25-vuotiaat ammattikuljettajat, joilla Löytyn (2014) mukaan on selkeästi kohonnut onnettomuusriski muun muassa ylinopeuden takia, sekä yli 54-vuotiaat kuljettajat, joilla puolestaan riskitekijänä liikenneturvallisuudessa on heikentynyt terveydentila (Löytty 2014).

Huomioon on otettava, että kuljetuksenantajat sekä kuljetusyrittäjät näkivät jo SAE-tason 0 kuljettajan informaatiojärjestelmät tärkeiksi puun autokuljetustoiminnassa tehokkuuden sekä turvallisuuden parantamisessa. Tason 0 järjestelmiä olisi mahdollista hyödyntää metsäteilläkin ja osin niitä onkin jo käytössä. Kuljetuksenantajat ja kuljetusyrittäjät painottivat teiden kantavuus- sekä ajoneuvojen massatietoja kuljettajan informoimiseksi yhdistelevien järjestelmien tärkeyttä. Metsäteille olisi sovellettavissa SAE-tason 0 ajamisen automaatiota, esimerkiksi CTI-järjestelmien osalta, jolloin rengaspaineiden säätö tapahtuisi automaattisesti tieluokan automaattisen tunnistuksen, ajonopeuden ja kuorman perusteella.

Jo kuljettajan työn tukemista tiedon avulla sekä päätöksentekoa helpottamalla nähtiin saavutettavan varsin suuria hyötyjä reittien suunnittelun sekä ajoturvallisuuden osalta. Tämä on tärkeää ottaa huomioon, jotta ajoneuvojen automaatiokehityksessä ei unohdetaisi kuljettajan osaa. Vaikka automaation kehittyessä kuljettajan työ muuttuukin valvovaksi työksi SAE-tasolta 2 alkaen, tulee valvovaakin työtä tukea erilaisin informaatiojärjestelmin, jotta kuljettaja pysyy ajan tasalla ajoneuvon toiminnasta sekä ympäristön

olosuhteista ja pystyy varmistamaan automaattisten toimintojen turvallisuuden. Valvovan tehtävän tukeminen olisi etu myös sen vuoksi, että kuljettaja todennäköisesti tulee väsymään toimintojen valvomiseen, jolloin kaikki kuljettajan työtä tukevat järjestelmät auttavat ajamisen lisäksi myös valvomistehtävän suorittamisessa. Esimerkiksi automatisoitu kuljettajan vireystilan seuranta voisi olla turvallisuutta parantava tekijä.

Kuljetusyrittäjien toiminnan kannalta ainespuun tehdasvastaanoton toimintojen tehostamisessa automatisoiduilla kuormanpurkutoiminnoilla nähtiin suurta potentiaalia, missä toki toiminnanohjausjärjestelmilläkin tulee olemaan suuri rooli esimerkiksi kuorman purun ruuhkautumisten estämisessä. Kuljetusyrittäjät kokivat erityisesti puutavara-ajoneuvon osalta automaation potentiaalina kuljettajakohtaisten erojen kaventamisen tehokkuudessa, polttoainetaloudessa ja ajoturvallisuudessa. Kuljetustenantajien ja kuljetusyrittäjien mukaan puutavaranosturin liikkeiden automatisoinnin koettiin tuottavan suurta tehokkuusparannusta etenkin kokemattomien kuljettajien kohdalla. Puutavaranosturivalmistajat kuitenkin epäilivät puutavaranosturin korkeamman automaation kokonaishyötyä kuljetusketjun kannalta.

Automaatiolla tavoitellaan ajoneuvon osalta nykyistä pienempää polttoaineenkulutusta. Polttoaineenkulutuksen pienentäminen nähtiinkin haastatteluissa tärkeäksi hyödyksi, jota puun autokuljetusten automaatiolla pyritään saavuttamaan. Ympäristöystävällisyyden nähtiin seuraavan suoraan polttoaineenkulutuksen pienentymisestä eli se olisi välillinen hyöty, jota suoraan ei välttämättä tavoitella. Polttoainetalous onkin tärkeä asia etenkin kuljetusyrittäjille, sillä polttoainekulujen osuus puutavara-ajoneuvon kokonaiskäyttökustannuksista on merkittävä.

Puun autokuljetuksen automaation kehittymisellä ei välttämättä olekaan yksiselitteistä vaikutusta energiankulutukseen ja täten automaatiokehitys ei välttämättä takaa polttoainetalouden parantumista ja siten myös ympäristöystävällisyyttä. Toisin kuin tieliikenteen julkaisuissa (Innmaa ja Kuisma 2018, Arola ja Antikainen 2017, Kulmala ym. 2019, ETRAC 2019 a), laajenevan automaation ei haastateltujen tutkijoiden mukaan nähty yksiselitteisesti pienentävän energiankulutusta, vaan jopa mahdollisesti kasvattavan sitä. Toisaalta automaatio osaltaan pienentää energiankulutusta, mikäli etähallinnan avulla

puutavara- ja hakeautoista voitaisiin poistaa ohjaamot, jolloin ajoneuvon muotoilu muuttuisi polttoainetaloudellisemmaksi ja hyötykuorman määrää voitaisiin kasvattaa.

Puun autokuljetustoiminnan kuljettajapulan helpottamiseksi automaation nähtiin tarjoavan seuraavia hyötyjä: uusien kuljettajien alalle houkuttelu, nykyisten kuljettajien työssä jaksaminen sekä tarvittaessa kuljetustoiminnan ylläpitäminen pienemmillä kuljettajaresursseilla toimintojen tehostamisen avulla (esimerkiksi letka-ajoa hyödyntämällä), jota Janssen ym. (2015), Brizzolara ja Toth (2016) pitivät mahdollisena. Kuljettajien työssä viihtymistä sekä kuljettajatyövoiman saatavuutta nähtiin myös mahdollisena parantaa automaation avulla. Erityisesti nuorempiin kuljettajiin automaation nähtiin vetoavan siinä määrin, että automaation lisääminen voisi parantaa alan houkuttelevuutta. Uusien kuljettajien saatavuuden parantamisen lisäksi voidaan parantaa nykyisten kuljettajien alalla pyysymistä vähentämällä kuormittuneisuutta ja viihtyvyyttä lisäämällä. Tämä havainto on päinvastainen kuin Salosen (2019) tutkimuksessa, jossa kuljettajat arvelivat automaation huonontavan kuljetusalan houkuttelevuutta ja työssä viihtymistä.

Täysin ainakaan metsäteillä kuljettajaa ei nähty mahdolliseksi korvata automaation avulla, sillä monia kuljettajan työtehtäviä on vaikea suorittaa automatisoidusti, kuten kuljettajat arvioivat myös Salosen (2019) tutkimuksessa. Kuljettajan työnkuva kuitenkin tulee muuttumaan järjestelmiä valvovaksi työksi, ainakin aluksi maantiesuoksilla, kuten kirjallisuudessaakin (SAE International 2018, Innamaa ym. 2015, ERTRAC 2017, 2019 a ja b) ennustetaan. Metsäteillä kuljettajan roolin ajamisen suorittajana kuitenkin nähtiin säilyvän pitkään. Toisaalta puun autokuljetustoiminnan kannalta haastavin ympäristö on juurikin metsätieverkko, jolla ajaminen ja kuormaus vaativat paljon ammattitaitoa ja kokemusta. Täten juuri metsäteille suunnattu ajamisen ja puutavaranosturin automaatio toisi suurta hyötyä alentamalla kuljettajien osaamisvaatimuksia ja mahdollistamalla suuremman kuljettajatarjonnan kuljettajapulasta kärsivälle toiminnalle, mikäli metsäteiden automaatiolle asettamat haasteet pystyttäisiin voittamaan. Käytännön ratkaisuita voisivat olla esimerkiksi automatisoidut kuormaustoiminnot sekä ainakin kuljettajaa tukeva informaatio ajamisen osalta.

Puutavaranosturien automaatiota kehitettäessä on otettava huomioon nosturin käytön pieni osuus kuljettajan kokonaistyöajasta. Täten on tärkeää pohtia autokuljetusketjun

kokonaistehokkuuden kannalta puutavaranosturin eri tasojen automaation vaikutuksia ja suhteuttaa ne aiheutuviin kustannuksiin. Vaikka nostureiden automaation kehitys olisikin mahdollista toteuttaa ajoneuvojen automaatiokehitystä nopeammalla tahdilla, ei se ole välttämättä järkevää, mikäli puun autokuljetuksen kokonaistehokkuuden kannalta se ei merkittävästi paranna tilannetta. Nostureiden automaatiokehitystä voikin olla järkevää suhteuttaa puutavara-ajoneuvon automaatiokehitykseen ja sen mukanaan tuomiin kuljettajan työn kuvan muutoksiin. Suurin hyöty korkeammasta puutavaranosturien automaatiosta nähtiin kokemattomien kuljettajien kohdalla, kun taas ammattitaitoisen kuljettajan tehokkuutta nähtiin todella vaikeana parantaa. Myös se, ettei kuljettajan tarvitsisi tulevaisuudessa huolehtia kuormauksesta, voisi parantaa kuljettajien saatavuutta, sillä uudet kuljettajat kokevat kuormanteon haastavaksi. Myös nosturiin kiipeämisen tarpeen poistaminen vähentäisi merkittävästi puutavara-auton kuljettajille yleisiä työtapaturmia. Tähän on tosin mahdollista päästä jo manuaaliohjauksella VR-lasiteknologiaan perustuvien menetelmin.

Hyötyjä puunautokuljetuksen automaation osalta sekä arvioita niiden saavutettavuudesta on koottu seuraavan sivun taulukkoon 13.

Taulukko 13. Puun autokuljetusketjun automaation tavoitellut hyödyt eriteltyinä ajoneuvon, puutavara-nosturin ja terminaalitoimintojen osalta. Tavoiteltujen hyötyjen saavutettavuus perustuu haastattelujen tuloksien pohjalta tehtyihin päätelmiin. Symbolit: S=hyöty saavutettavissa, S/V=hyöty jokseenkin saavu-tettavissa, joskin haasteellinen ja V=hyödyn saavuttaminen haastavaa. Merkintä (+/-) tarkoittaa hyödyn omaavan sekä positiivisen, että mahdollisesti myös negatiivisen vaikutuksen.

| Tavoiteltu hyöty ja hyödyn saavutettavuus | | | | | |
|--|---------|--|---|---|---------|
| Ajoneuvo | | Puutavaranosturi | | Puuterminalitoiminnot | |
| Tehokkuus ja kustannukset | | | | | |
| Resurssitehokkuus | | Resurssitehokkuus | | Resurssitehokkuus | |
| -kokemattomien kuljettajien tehokkuuden nousu | S | -kokemattomien kuljettajien tehokkuuden nousu | S | -henkilökustannussäästöt | S |
| -vanhempien kuljettajien tehokkuuden ylläpito | S | -vanhempien kuljettajien tehokkuuden ylläpito | S | -kaluston käyttöasteen nosto | S |
| - kuljettajatarpeen pienentäminen | S/ V | -kuljettajakohtaisten tehokkuuserojen tasaus | S | | |
| -kaluston käyttöasteen nosto | S/ V | | | | |
| -kuljettajakohtaisten tehokkuuserojen tasaus | S | | | | |
| Polttoainekulutuksen pienentyminen | S/ V | | | | |
| -kuljettajakohtaisten kulutuserojen tasaus | S | | | | |
| Kaluston rikkoontumisten vähentäminen | S | Kaluston rikkoontumisten vähentäminen | S | Kaluston rikkoontumisten vähentäminen | S |
| Turvallisuus | | | | | |
| Inhimillisten virheiden vähentäminen/poisto | S | Inhimillisten virheiden vähentäminen/poisto | S | Inhimillisten virheiden vähentäminen/poisto | S |
| | | -työtapaturmien ehkäisy | S | -työtapaturmien ehkäisy | S |
| Kuormittuneisuuden vähentäminen | S | Kuormittuneisuuden vähentäminen | S | Kuormittuneisuuden vähentäminen | S |
| Ympäristöystävällisyys | | | | | |
| Polttoainekulutuksen pienentymisen kautta | S/ V | Ei suurta merkitystä | | Polttoainekulutuksen pienentymisen kautta | S/ V |
| Kaluston rikkoontumisten vähentäminen | S | Ei suurta merkitystä | | Kaluston rikkoontumisten vähentäminen | S |
| Kuljettajan työssä viihtyminen ja kuljettajien saatavuus | | | | | |
| Työssä viihtyminen (+/-) | S | Työssä viihtyminen (+/-) | S | Ei arvioitu | |
| -kuljettajien pysyvyys | S | -kuljettajien pysyvyys | S | | |
| -henkisen ja fyysisen kuormituksen pienentäminen | S | -henkisen ja fyysisen kuormituksen pienentäminen | S | - | |
| Kuljettajien saatavuuden parantaminen | S | Kuljettajien saatavuuden parantaminen | S | - | |

Letka-ajon tutkimuksissa (Brizzolara ja Toth 2016, Slowik ja Sharpe 2018, Lu ja Shladover 2011) esitettyjä polttoainehyötyjä tulee tarkastella kriittisesti raakapuun autokuljetusten osalta, sillä umpinaisten kuormatilojen puuttuminen voi heikentää letka-ajon poltto-polttoainehyötyä. Sivutuotehakekuljetuksissa kaluston ollessa umpinaisilla kuormati-loilla varustettua, voitaisiin esitettyjä 4–15 % polttoainesäästöjä saavuttaa paremmin. Letka-ajon suurin hyöty voisi löytyä puutavara- ja sivutuotehakeautojen maantieajosta,

jossa ajonopeudet ovat pääsääntöisesti yli 50 km/h. Letka-ajon käyttö vaatii puutavara- ja sivutuotehakeautojen osalta kokonaisvaltaista reittisuunnittelua sekä edes jossain määrin samaan suuntaan suuntautuvia kuljetuksia usean ajoneuvon osalta. Merkittävimmät letka-ajon hyödyt saavutetaan vasta SAE-tasolla 4, jolloin kuljettajaa tarvittaisiin vain johto-ajoneuvossa.

Kanadan metsäteillä FPInnovationsin (2019 a ja b) toteuttamaa letka-ajokokeilua ei voida suoraan soveltaa Suomen kapeille ja mutkaisille metsäteille, joilla ajonopeudet ovat alhaisia (alle 20 km/h). Alhaisten ajonopeuksien vuoksi letka-ajosta ei saataisi edes kovin merkittävää polttoainetaloudellista hyötyä metsäteillä ajettaessa. Myös usean ajoneuvon letka etenkin kelirikkoaikoina voi rikkoa metsätien rungon. Toisaalta metsäteillä ei yleensä ole tarvetta monen puutavara-auton samanaikaiselle liikkumiselle, joten letka-ajosta ei metsäteillä siitäkään syystä olisi välttämättä suurta hyötyä. Kuljetusyrittäjien puutavara-autot ovat levittäytyneet operaatioalueelle toisinaan hyvin hajanaisesti hakkuutyömaiden sijainneista sekä kuljetusmääräyksistä riippuen. Ainoastaan Pohjois-Suomessa pitkillä kuljetusmatkoilla ja isoilla työmailla letka-ajamista metsäteillä voisi harkita roudan vallitessa ja silloinkin vain tietyillä tieosuuksilla.

10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa luotiin laaja katsaus tieliikenteen automaation kautta metsäteollisuuden ainespuun autokuljetusten automaatioon. Asiantuntijahaastatteluilla saatiin koottua laaja tutkimusaineisto, josta saatiin kattavat vastaukset tutkimuskysymyksiin. Haastattelulosten lisäksi tässä tutkimuksessa luotiin kuusiportainen automaation tasoluokitus puutavaranosturille. Luokitus muodostettiin pitkälti kirjallisuuden pohjalta ja sen toimivuus arvioitiin puutavaranosturivalmistajien haastattelujen yhteydessä. Puutavaranosturin automaation tasoluokitus oli työn kannalta välttämätön puutavaranosturin automaation luokittelemiseksi ja ymmärtämiseksi. Luokituksen avulla voitiin SAE:n ajoneuvojen automaation tasoluokituksen tapaan tarkastella nostureiden automaatiota ymmärrettävällä ja selkeällä tavalla. Kyseinen puutavaranosturien automaatiotasoluokitus on mahdollisesti sovellettavissa myös muille hydraulisille nostureille.

Automaatiojärjestelmien turvallisen käytön ollessa tärkein vaatimus, tulevat korkeamman tason automaatiojärjestelmät ensiksi käyttöön suljetuille alueille. Avointen alueiden osalta ainespuun autokuljetuksen automatisointi (sis. Letka-ajo) on helpointa aloittaa sivutuotehakkeen sekä raakapuun terminaalien ja tuotantolaitosten välisistä autokuljetuksista. Ammattitaitoista kuljettajaa tullaan tarvitsemaan vielä hyvin pitkään etenkin metsätieolosuhteissa toimittaessa. Ainespuun autokuljetuskaluston pitoajan lyhyys mahdollistaa kaluston uusimisen kautta ajanmukaisen automaatiotason ajoneuvokalustossa.

Seuraavan 3–5 vuoden kuluttua ajoneuvon automaatio todennäköisesti tulee edustamaan avoimessa ympäristössä SAE-tasoja 1–2, joista tason 2 ODD rajautuu maanteille hyviin olosuhteisiin. Suljetussa ympäristössä käyttöön otetaan SAE-tasoja 3–5 kuorman purkukoneiden sekä jopa ajoneuvon ajamisen osalta, aluksi kuitenkin varsin pienimuotoisesti. Tason 1 ODD puolestaan laajenee käytettäväksi myös alemmalla tieverkolla sekä talviolosuhteissa. Kuormaimen osalta automaatiotasoksi vakiintuu taso 1 kärkiohjausautomaatiolla, josta on hyötyä etenkin aloittelevien kuljettajien tehokkuuden parantamisessa. Metsäteille soveltuvaa ajamisen automaatiota ei todennäköisesti ole saatavilla tarkastellulla aikavälillä, joten SAE-tason 0 kuljettajan informaatiojärjestelmät sekä mahdollisesti automatisoitu rengaspaineiden säätöjärjestelmä (CTI) ovat ainoita metsätieverkolle soveltuvia järjestelmiä. Vaikka kyseisten järjestelmien automaatioaste on olematon ajamisen näkökulmasta, on niistä silti saatavissa tehokkuus ja turvallisuushyötyjä, etenkin kun oletetaan kuljettajan informaatiojärjestelmien kehittyvän sekä niiden tarjoaman tietopohjan laajentumista. Esimerkiksi metsätieverkon kantavuustiedon ja ajoneuvon massatiedon yhdistävä järjestelmä voisi parantaa etenkin sellaisten uusien kuljettajien tehokkuutta, joilta puuttuu operaatioalueen paikallistuntemus.

Yli viiden vuoden kuluttua ajoneuvojen automaatiokehitys on kehittynyt siten, että käyttöön otetaan SAE-tasojen 1–4 automaatiota avoimessa ja tasojen 3–5 automaatiojärjestelmiä suljetuilla alueilla. Suljettujen alueiden 3–5 tason automaatiota tulee olemaan todennäköisesti jo laajalti käytössä sekä ajoneuvoissa, että kuorman purkukoneissa. Aikavälillä avointen ja suljettujen alueiden automaatiotasot lähentyvät toisiaan. Kummallakin aikavälillä (3–5 ja yli 5 vuotta) tarkasteltuna SAE-tason 3 automaatiojärjestelmien käyttöönoton kohtalo on vielä tällä hetkellä epäselvä. Jossakin, tosin määrittelemättömässä

vaiheessa tarkastellulla yli viiden vuoden aikajänteellä automaatiokehitystä tapahtuu myös metsäteille soveltuvan automaation osalta, jolloin metsätieympäristöihin sopivaa ajamisen automaatiota tulee markkinoille.

Automaatiolla tavoitelluista hyödyistä päähyödyt ovat turvallisuus, kuljetustehokkuus, kuljettajan työhyvinvointi ja kuljettajatyövoiman saatavuus sekä polttoainetaloudellisuus ja sitä kautta ympäristöystävällisyys. On kuitenkin huomattava, etteivät kaikki hyödyistä ole yhtä helposti saavutettavissa (Taulukko 13). Esimerkiksi haasteellisenä näyttäytyy resurssitehokkuuden merkittävä parannus kuljettajaresurssitarvetta pienentämällä, mikä kuitenkin olisi erityisen tärkeä hyöty, mikäli kuljetusalan houkuttelevuutta ei saada parannettua. Osa automaatiolla tavoitelluista hyödyistä voi kuitenkin toimia päinvastoin kuin on alun perin ollut tarkoitus, esimerkkinä kuljettajien työssä viihtyminen, joka jakaa kuljettajia sekä automaation vaikutus kuljetusten polttoainetalouteen.

Kustannukset ja tehokkuus yhdessä muodostavat kustannustehokkuuden, jolla on suuri merkitys puun autokuljetusketjussa. Mikään edellä luetelluista hyödyistä ei yksin näytä olevan riittävä, vaan automaatiojärjestelmän käyttöönottamiseksi vaaditaan useiden edellä mainittujen hyötyjen saavuttamista, sisältäen tärkeimpänä turvallisuuden, jonka jälkeen seuraavia kriteereitä ovat tehokkuus, kustannukset, sekä kuljettajan työhyvinvointi. Kaikkia näitä hyötyjä vielä verrataan järjestelmien elinkaareen sekä hankinta- ja ylläpitokustannuksiin. Automaation hyötyjen saavuttamisessa lainsäädännöllä on myös oleellinen rooli, eritoten kuljettajan ajonaikaisen muun työn tai levon mahdollistamisessa.

Tämän tutkimuksen ollessa laajempi katsaus puun autokuljetuksen automaation kehitysnäkymille ja automaatiolla tavoiteltaville hyödyille, seuraa jatkotutkimusaiheita tästä tutkimuksesta varmasti lukuisia. Muutama jatkotutkimusaihe kuitenkin nousi erityisesti esille. Tämän tutkimuksen ollessa laadullinen, tulee tarve automaation yksityiskohtaisempia hyötyjä tarkasteltaessa tutkia niitä määrällisesti.

Lyhyen aikavälin tutkimusaiheita ovat seuraavat:

- Puutavaranoisturin karkiohjouksen vaikutus kuormaustryön tehokkuuteen. Myös ajamisen ja kuormauksen tehokkuuden eroja kokemattomien sekä kokeneiden kuljettajien välillä tulee tarkastella sekä automaation potentiaalia niiden pienentämisessä.
- Automaation lisäämisen vaikutus kuljettajan työn kuormittavuuteen. Aiheen tiimoilta pitää selvittää, onko automaattinen ajaminen puun autokuljetuksessa vähemmän vai enemmän kuormittavaa verrattuna manuaaliseen ajamiseen. Myös kuljettajan valmius ottaa ajoneuvo hallintaansa äkkitilanteissa SAE-tasolla 3 tulee selvittää, mikäli kyseinen taso tulee käytettäväksi raskaisiin ajoneuvoihin.
- Automaation ODD-vaatimukset metsäteiden ja alemman tieverkon osalta.
- Automaatioratkaisuiden kustannukset suhteessa hyötyihin (Kuormain+ajoneuvo).
- Automaation vaikutus puun autokuljetustoiminnan työvoimapulaan.
- V2V ja V2X -verkottuneisuus puun autokuljetustoiminnassa.
- Sivutuotehakkeen autokuljetuksen letka-ajaminen.
- Terminaali-tehdas ja tehdas-tehdas -välisten raakapuukuljetusten letka-ajo.

Lisäksi puun autokuljetustoiminnan automaation hyötyjä käyttöönoton sekä kehitystyön kannalta tulee tarkastella konkreettisten mittareiden avulla. Pilottihankkeissa kerättävästä datasta voitaisiin indikaattorien avulla muodostaa selkeitä tunnuslukuja, joiden avulla esimerkiksi erilaisten ratkaisujen yhteismitallinen vertailu nykyisiin käytössä oleviin järjestelmiin olisi mahdollista. Tällaisia mittareita voisivat olla Innamaan ja Kuisman (2018) esittämät avainindikaattorit (KPI), kuten:

- Polttoaineenkulutus (l/100 km)
- CO₂-päästöt (/km tai /vuosi)
- Automaattisen ajoneuvon kulut (hankinta- ja käyttökulut / km)
- Automaatiojärjestelmän käytön osuus ajamisessa (% ajomatkasta, joilla järjestelmää voitaisiin hyödyntää)
- Kerrat, jolloin automaattiajamisesta jouduttiin siirtymään manuaaliseen ajamiseen (lkm/1000 km)
- Hätäjarrutustilanteiden määrä (lkm/1000 km)

- ”Läheltä piti” -tilanteiden määrä
- Ajoneuvon seisokkiajan määrä

Tieverkon soveltuvuus eri tasojen puun autokuljetusten automaatiolle tulee suuremmassa määrin selvittää, mikäli suuria hankkeita ajoneuvokaluston automatisoinnin osalta käynnistetään. Tällöin ISAD-luokitus tai sen kaltainen tieverkon jaottelu fyysisen ja digitaalisen infrastruktuurin automaattista ajamista tukevien ominaisuuksien mukaan tulee ottaa käyttöön, jotta automaation sovellettavuus tieverkolle ja tieverkon rajoitteet voidaan kartoittaa. Osana edellä mainittua luokitusta tulee olemaan myös raakapuun ja sivutuotehakkeen autokuljetuskaluston automaatiojärjestelmien ODD-ympäristöjen määrittely, mikä ensisijaisesti kuuluu lähinnä ajoneuvo- ja puutavaranosturivalmistajille. Toisaalta ODD-ympäristöjen määrittely täytyisi tapahtua laajalti eri tahojen yhteistoiminnan seurauksena, jotta kokonaistehokkaat ja puun autokuljetuksen toimintaympäristöihin soveltuvat ratkaisut saataisiin kehitettyä.

Kuljettajaa informaatiolla tukevien SAE-tason 0 järjestelmien pilotointia etenkin raakapuun kuljetuksissa tulisi laajalti suorittaa, sillä varsin yksinkertaisinkin ratkaisuin voitaisiin helpottaa ja tehostaa kuljettajan työtä metsätieympäristöissä. Joukkoistettua tiedonkeruuta ja kuljettajaa tukevan informaation käyttöä onkin testattu esimerkiksi Metsätehon tiestötiedonkeruun hankkeissa (ks. Venäläinen ym. 2017).

11 LÄHDELUETTELO

- Andersson, P. & Ivehammar, P. 2019. Benefits and Costs of Autonomous Trucks and Cars. *Journal of Transportation Technologies* 9: 121-145. <https://doi.org/10.4236/jtts.2019.92008>
- Asetus ajoneuvojen käytöstä tiellä 4.12.1992/1257. Annettu Helsingissä 4.12.1992. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19921257>.
- Arola, T. & Antikainen, P. 2017. Liikenteen automaation ja robotiikan kehittämistoimien tiekartta 2017–2019. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 10/2017. Liikenne- ja viestintäministeriö. ISBN (verkkojulkaisu) 978-952-243-504-0. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-504-0>
- Automotive News. 2019. Why Level 3 automated technology has failed to take hold [www-sivusto]. [Julkaistu: 21.07.2019] Saatavissa: <https://www.autonews.com/shift/why-level-3-automated-technology-has-failed-take-hold>. [Viitattu: 20.02.2020].
- Bergenheim, C., Huang, Q., Benmimoun, A. & Robinson, T. 2010. Challenges of Platooning in public motorways. Saatavissa: <https://www.semanticscholar.org/paper/CHALLENGES-OF-PLATOONING-ON-PUBLIC-MOTORWAYS-Bergenheim/c5afe2bfbf86062e00149504fd185c94b8a6d74a>.
- Brizzolara, D. & Toth, A. 2016. The emergence of truck platooning. *Baltic Transport Journal* 3/2016: 58–59. Saatavissa: <https://erticonetwork.com/the-emergence-of-truck-platooning/>.
- Canadian Forest Industries. 2018. FPInnovations and partners successfully test forestry truck platooning. [www-sivusto]. Julkaistu: 07.11.2018. Saatavissa: <https://www.woodbusiness.ca/fpinnovations-and-partners-successfully-test-forestry-truck-platooning-5294/>. [Viitattu: 20.07.2019].
- Cargotech. 2019. Autonomous Operations at Cargo Terminals. Merenkulun automaatio ja autonomia – missä mennään?. Saatavissa: <https://www.kalmar.fi/uutishuone/whitepapers/>. [Viitattu: 11. 10. 2019].
- Denzin, N.K. 1978. The research act. New York: McGraw-Hill. 368 s.

- Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2019. Liikenne. [www-sivusto]. Saatavissa: <https://www.ely-keskus.fi/web/ely/liikenne;jsession-id=BB3629B08CD688E9C170B2F95CE41C3E>. [Viitattu: 18.08.2019].
- ERTRAC. 2012. European Roadmap, Heavy Duty Truck. Version 1.0. 21.09.2012. Saatavissa: https://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id4/heavy-duty-truck-1_0_66.pdf.
- ERTRAC. 2017. Automated Driving Roadmap. ERTRAC Working Group “Connectivity and Automated Driving”. Saatavissa: https://www.ertrac.org/uploads/images/ERT-RAC_Automated_Driving_2017.pdf.
- ERTRAC. 2019 a. Long Distance Freight Transport, A roadmap for System integration of Road Transport. ERTRAC Working Group “Long Distance Freight Transport”. 26.02.2019. Saatavissa: <https://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id56/ERTRAC-Long-duty-Freight-Transport-Roadmap-2019.pdf>.
- ERTRAC. 2019 b. Connected Automated Driving Roadmap. ERTRAC Working Group “Connectivity and Automated Driving”. 08.03.2019. Saatavissa: <https://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id57/ERTRAC-CAD-Roadmap-2019.pdf>.
- FPIInnovations. 2019 a. Connected Forests – Truck Automation In Forestry. Forestry 4.0. Texas A&M – Transportation Technology Conference. April 30, 2019. Saatavissa: <https://static.tti.tamu.edu/conferences/ttc19/presentations/general-session-3/proust.pdf>.
- FPIInnovations. 2019 b. Truck platooning: on the road towards a common goal. FPIInnovations Blog. [www-sivusto]. Saatavissa: <http://blog.fpinnovations.ca/blog/2019/09/27/truck-platooning-on-the-road-towards-a-common-goal/>. [Viitattu: 05.01.2020].
- Harvesttech. 2019. Forestry truck platooning tested in Canada. [www-sivusto]. Julkaistu 07.11.2018. Saatavissa: <https://harvesttech.events/forestry-truck-platooning-tested-in-canada/>. [Viitattu: 20.07.2019].
- Hiab. 2020. HiVision Crane Operation For Next Generation Forest People. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.hiab.com/fi-FI/Alkusivu/hivision/>. [Viitattu: 26.04.2020].
- Hirsjärvi, S. & Hurme, H. 1988. Teemahaastattelu. Yliopistopaino. Helsinki. 1988. ISBN 951-570-030-2. 144 s.

- Hirsjärvi, S. & Hurme, H. 2009. Tutkimushaastattelu. Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Yliopistopaino. Helsinki. 2009. ISBN 978-952-495-073-2. 213 s.
- Innamaa, S., Kanner, H., Rämä, P. & Virtanen, A. 2015. Automaation lisääntymisen vaikutukset tieliikenteessä. Trafin tutkimuksia 1/2015. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. Saatavissa: https://www.trafi.fi/tietopalvelut/julkaisut/2015_tutkimukset/automaattiajaminen. ISBN 978-952-311-066-3.
- Innamaa, S. & Kuisma, S. 2018. Key performance indicators for assessing impacts of automation in road transportation - Results of the Trilateral key performance indicator survey. Trilateral Impact Assessment Sub-Group of Automation in Road Transportation Working Group. VTT. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2018/VTT-R-01054-18.pdf>.
- Jaatinen, T. & Nietola, O. 2018. Metsäteollisuus ry:n lausunto: Valtioneuvoston periaatepäättös kehittämissuunnitelmaksi logistiikan ja kuljetussektorin sekä satamien digitalisaation vahvistamisesta (hankenumero: LVM/237/01/2018). Metsäteollisuus ry. Annettu 28.03.2018. Saatavissa: https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/0f585343-19e0-433f-9456-bdc9fa0aeb27/86f9e4dd-a969-4710-8310-d65f3a15367d/LAU-SUNTO_20180228131000.PDF.
- Janssen, R., Zwijnenberg, H., Blankers, I. & De Kruijff, J. 2015. Truck Platooning: Driving the future of transportation. TNO – Innovation For Life. Saatavissa: <https://repository.tudelft.nl/view/tno/uuid:778397eb-59d3-4d23-9185-511385b91509>.
- Kauppalehti. 2019. [www-sivusto]. Scania-johtaja: Autonomisia autoja ei tulla näkemään ehkä ikinä- ”Olemme heränneet hullusta hypetyksestä”. Verkkouutinen. Saatavissa: https://www.kauppalehti.fi/uutiset/scania-johtaja-autonomisia-autoja-ei-tulla-na-kemaan-ehka-ikina-olemme-heranneet-hullusta-hypetyksesta/2b291df0-1f3d-47ba-99fc-223e035de7e8?ref=iltalehti:f142&utm_source=iltalehti.fi&utm_medium=almainternal&utm_campaign=sisalto_kauppalehti_uutisnosto. [Viitattu 23.03.2019].
- Korpilahti, A. 1992. Puutavaran kaukokuljetuksen terminaalivaiheet. Metsätehon katsaus 8/1992. Metsäteho Oy. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/puutavaran-kaukokuljetuksen-terminaalivaiheet/>.
- Korpilahti, A. & Thesslund, O. 2008. Metsätiet. Metsätehon tulokalvosarja 10a/2008. Metsäteho Oy. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/metsatiet/>.

- Kulmala, R., Jääskeläinen, J. & Pakarinen, S. 2019. The impact of automated transport on the role, operations and costs of road operators and authorities in Finland (Automaattiajoneuvojen vaikutukset tienpitäjien ja viranomaisten rooliin, toimintaan ja kustannuksiin Suomessa). Traficomin tutkimuksia ja selvityksiä 6/2019. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Saatavissa: https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/EU_EIP_Impact_of_Automated_Transport_Finland_Traficom_6_2019.pdf. ISBN (verkkojulkaisu) 978-952-311-306-0.
- Kyytinen, A., Lybeck, A., Kutila, M. & Penttinen, M. 2017. Ammattikuljettajan osaamistarpeet automaattisessa liikenteessä (AULA). Automaatiotasot 1–3 vuosina 2017–2021. Trafin tutkimuksia 6/2017. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. Helsinki. Saatavissa: https://arkisto.trafi.fi/filebank/a/1489406044/574a1a30c4f73d7ee3c56153d5a69528/24220-Trafi_06_2017_Ammattikuljettajan_osaamistarpeet_automattisessa_liikenteessa.pdf. ISBN 978-952-311-193-6.
- Laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä. 23.6.2005/503. Voimaantulo: 01.01.2006. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050503#L1P4>. [Viitattu: 23.07.2019].
- Liikenne- ja viestintäministeriö. 2019. Ajoneuvoyhdistelmien enimmäispituudeksi 34,5 metriä. Tiedote 10.01.2019. [www-sivusto]. Saatavissa: <https://www.lvm.fi/-/ajoneuvoyhdistelmien-enimmaispuuudeksi-34-5-metria-995196>. [Viitattu 30.10.2019].
- Liikenne- ja viestintäministeriö. 2020. ARVIOMUISTIO; LIIKENTEEN AUTOMAATION LAINSÄÄDÄNTÖ- JA TOIMENPIDESUUNNITELMAN VALMISTELU - osat tiedon hyödyntäminen ja liikenteen automaation tarvitsema digitaalinen ja fyysinen infrastruktuuri. 16.1.2020. Liikenne- ja viestintäministeriö. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=LVM059:00/2019>.
- Liikenneturva. 2019. Onnettomuudet, joissa raskas ajoneuvo on osallisena (kuorma-auto tai linja-auto). Tilastokatsaus. 15.04.2019. Liikenneturva. Saatavissa: https://www.liikenneturva.fi/sites/default/files/materiaalit/Tutkittua/Tilastot/tilastokatsaukset/tilastokatsaus_raskas_liikenne.pdf.
- Liikennevirasto. 2018 a. Tietilasto 2017. Liikenneviraston tilastoja 5/2018. Liikennevirasto. Helsinki. 2018. Saatavissa: <https://www.traficom.fi/fi/tietilasto>. ISBN 978-952-317-560-0.

- Liikennevirasto. 2018 b. Talvihoidon toimintalinjat. Liikenneviraston toimintalinjoja 1/2018. Helsinki. 2018. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lto_2018-01_talvihoidon_toimintalinjat_web.pdf. ISBN 978-952-317-598-3
- Lilleberg, R., Anttila, T., Karjalainen, J., Nietola, O., Rajala, P.T. ja Hämäläinen, J. 2012. Puutavaralogistiikka 2020. Metsäteho Oy. Metsäteollisuus ry. Saatavissa: <https://www.metsateollisuus.fi/uploads/2017/03/30035227/462.pdf>.
- Lu, X., & Shladover, S. E. 2011. Automated Truck Platoon Control. UC Berkeley: California Partners for Advanced Transportation Technology. Saatavissa: <https://escholarship.org/uc/item/7c55g2qs>.
- Lumiahho, A. & Malin, F. 2016. Tieliikenteen automatisoinnin etenemissuunnitelma ja toimenpideohjelma 2016–2020. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 19/2016. Liikennevirasto, liikenne ja tieto -toimiala. Helsinki 2016. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:978-952-317-251-7>. ISBN 978-952-317-251-7.
- Luonnonvarakeskus. 2019 a. Puutermiinaaliopas. [www-sivusto]. Saatavissa: <https://www.luke.fi/puutermiinaaliopas/>. [Viitattu: 15.08.2019].
- Luonnonvarakeskus. 2019 b. Metsätilastot – Teollisuuspuun korjuu ja kaukokuljetus. [www-sivusto]. Saatavissa: http://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_04%20Metsa_08%20Muut_Teollisuuspuun%20korjuu%20ja%20kaukokuljetus/?table-list=true&rxid=9bb3b61b-b2ee-411a-9e7a-876cc3d50f1b. [Viitattu 19.08.2019].
- LVM015:00/2018. 2018. Valtioneuvoston periaatepäätös kehittämissuunnitelmaksi logistiikan ja kuljetussektorin sekä satamien digitalisaation vahvistamisesta. Liikenne- ja viestintäministeriö. Saatavissa: <https://valtioneuvosto.fi/hanke?tunnus=LVM015:00/2018>. [Viitattu: 01.05.2019].
- Löytty, M. 2014. Nuorten raskaan liikenteen ammattikuljettajien osallisuus tieliikenteen onnettomuuksissa. Trafin julkaisuja 25/2014. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. Saatavissa: https://arkisto.trafi.fi/filebank/a/1420031328/628eef74ddf4ba31ad82ceb9faaad63e/16518-Trafin_julkaisuja_25-2014.pdf. ISBN ISBN 978-952-311-066-3.
- Maankäyttö- ja rakennuslaki. 5.2.1999/132. Voimaantulo 01.01.2000. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/smur/1999/19990132>. [Viitattu: 20.08.2019].

- Manzey, D., Strauss, G., Trantakis, C., Lueth, T., Röttger, S., Bahner-Heyne, J.E., Dietz, A. & Meixensberger, J. 2009. Automation in surgery: A Systematic approach. Surgical technology International. February 2009. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/26649057_Automation_in_surgery_a_systematic_approach.
- Metsäteho. 1997. Puutavaran autokuljetus. Metsätehon opas. Uudistettu painos. Helsinki. 1997. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/puutavaran-autokuljetus/>.
- Metsäteho. 2001. Metsätieohjeisto. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/metsatieohjeisto/>. ISBN 951-673-169-4.
- Metsäteho. 2010. Korjuun suunnittelu -opas. [www-sivusto]. Saatavissa: <http://puuhuolto.fi/korjuun-suunnittelu/>. [Viitattu: 10.07.2019].
- Metsäteho. 2016. Autokuljetusopas. [www-sivusto]. Saatavissa: <http://puuhuolto.fi/autokuljetusopas/julkaisu/>. [Viitattu: 25.06.2019].
- Metsäteho. 2018. Mittaus ja laatu -opas. Toim. Timo Melkas. [www-sivusto]. Saatavissa: <http://puuhuolto.fi/mittaus-ja-laatu/mittaus-tehtaalla/>. [Viitattu: 12.07.2019].
- Metsäteho. 2019 a. [www-sivusto]. Uitto verkko-opas – Metsätehon koulutusmateriaali. Metsäteho Oy. Saatavissa: <http://puuhuolto.fi/uitto-opas/>. [Viitattu 12.03.2019].
- Metsäteho. 2019 b. HCT – Puutavaran ja hakkeen HCT-yhdistelmien tutkimus. [www-sivusto]. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/hct/>. [Viitattu: 07.07.2019].
- Metsäteollisuus ry. 2019. Lausuntopyyntö valtioneuvoston periaatepäätöksestä kehittämissuunnitelmaksi logistiikan ja kuljetussektorin sekä satamien digitalisaation vahvistamiseksi (hankenumero: LVM015:00/2018). 12.03.2019. Saatavissa: https://www.metsateollisuus.fi/uploads/2019/03/19105648/27_19_L_A_Lausunto-VN-periaatep%C3%A4%C3%A4t%C3%B6s_logistiikan-ja-kuljetussektorin-ja-satamien-digitalisaatio.pdf. [Viitattu 22.03.2019].
- Mäkelä, O. & Pennanen, O. 2005. Raakapuukuljetukset ja tiestön kehittäminen. Tiehallinto, Kaakkois-Suomen, Hämeen ja Keski-Suomen tiepiirit. Tiehallinnon selvityksiä 56/2005. Saatavissa: <https://www.doria.fi/handle/10024/139288>. ISBN 951-803-614-4.
- Niemelä, T., Hämäläinen, J., Kärhä, K., Pajuoja, H., Pirinen, H., Siekkinen, A. & Väkevä, J. 2018. Tehokas puuhuolto 2025. Päivitys 2018. Metsäteho Oy. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tehokas_puu_huolto_2025_p2018.pdf.

- Nowakowski, C., Shladover, S.E. & Tan, H-S. 2015. Heavy Vehicle Automation: Human Factors Lessons Learned. *Procedia Manufacturing* 3 (2015): 2945 – 2952. Saatavissa: www.sciencedirect.com.
- Nyberg, M. 2010. Liikennejärjestelmän talvikestävyys. Työryhmän mietintö. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 39/2010. Liikenne- ja viestintäministeriö. 2010. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/78152/Julkaisuja_39-2010.pdf?sequence=1. ISBN 978-952-243-193-6.
- Näsärö, O-P & Korpilahti, A. 2015. Puutavarayhdistelmien akselimassat ja kuormatilan koko. Metsätehon tulostulosarja 9/2015. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tulostulosarja_2015_09_Puutavarayhdistelmien_akselimassat_ja_kuormatilan_koko_ak.pdf.
- Oijala, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran tehdasvastaanoton menetelmät. Metsätehon katsaus 1/1994. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/puutavaran-tehdasvastaanoton-menetelmat/>.
- Penttinen, M., Luoma, J. & Mesimäki, J. 2019. Kuinka turvallisia automaattisten autojen on oltava? Traficomin tutkimuksia ja selvityksiä 2/2019. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi. Saatavissa: https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Kuinka_turvallisia_automaaattiautojen_Traficom_2_2019.pdf. ISBN (verkkojulkaisu) 978-952-311-290-2.
- Pilli-Sihvola, E., Miettinen, K., Sarlin, L., Kiiski, K., Kulmala, R. 2015. Robotit maalla, merellä ja ilmassa. Liikenteen älykkään automaation edistämissuunnitelma. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 7/2015. Liikenne- ja viestintäministeriö. 2015. Saatavissa: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/78361/Julkaisuja_7-2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y. ISBN (verkkojulkaisu) 978-952-243-456-2.
- Pöyskö, T., Hurskainen, E., Lapp, T. & Vaarala, H. 2016. Automaatio ja digitalisaatio logistiikassa. Kehitysnäkymiä Suomessa ja maailmalla. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 41/2016. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/Its_2016-41_automaatio_digitalisaatio_web.pdf. ISBN 978-952-317-307-1.
- Saarelainen, S. & Makkonen, L. 2007. Ilmastomuutokseen sopeutuminen tienpidossa. Esiselvitys. Tiehallinnon selvityksiä 4/2007. Tiehallinto. Helsinki 2007. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/139344/4549tie.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. ISBN 978-951-803-820-0.

- SAE International. 2014. Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems. Saatavissa: https://www.sae.org/standards/content/j3016_201401/.
- SAE International. 2017. SAE Level 3 "hand off" is challenging AI researchers. [www-sivusto]. Saatavissa: <https://www.sae.org/news/2017/01/sae-level-3-hand-off-is-challenging-ai-researchers>. [Viitattu: 19.02.2020].
- SAE International. 2018. Surface Vehicle Recommended Practice. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Vehicles. Issued January 2014. Revised June 2018. Saatavissa: https://saemobilus.sae.org/content/J3016_201806/.
- Salonen, T.T. 2019. Ammattikuljettajien näkemyksiä automaation vaikutuksista liikenteeseen tulevaisuudessa. Liikenneturvan selvityksiä 1/2019. Liikenneturva. Helsinki. 2019. Saatavissa: https://www.liikenneturva.fi/sites/default/files/materiaalit/Tutkittua/Tutkimukset/2019_automaatio.pdf. ISBN: 978-951-560-228-2.
- Scania. 2011. Scania active prediction–new cruise control saves fuel using GPS data. Press info. 2 December 2011. Saatavissa: <https://www.scania.com/group/en/event/pressroom-scania-active-prediction/>. [Viitattu: 10.11.2019].
- Scania. 2018. Platooning in pole position. [www-sivusto]. Saatavissa: <https://www.scania.com/group/en/platooning-in-pole-position/>. [Viitattu: 10.12.2019].
- Slowik, P. & Sharpe, P. 2018. Automation in the long haul: Challenges and opportunities of autonomous heavy-duty trucking in the United States. Working Paper 2018-06. The International Council On Clean Transportation. Saatavissa: <https://theicct.org/publications/automation-long-haul-challenges-and-opportunities-autonomous-heavy-duty-trucking-united>.
- Stanley Robotics. 2019. The different autonomous levels for industrial robotics you need to know. [www-sivusto]. Saatavissa: <https://stanley-robotics.com/blog/the-different-autonomous-level-for-industrial-robotics-you-need-to-know/>. [Viitattu: 14.12.2019].
- Stora Enso. 2020. Stora Enso testaa itsenäisesti ajavaa kuorma-autoa. [www-sivusto]. Saatavissa: <https://news.cision.com/fi/stora-enso--oyj/r/stora-enso-testaa-itsenaisesti-ajavaa-kuorma-autoa.c3043623>. [Viitattu: 25.02.2020].

- Strandström, M. 2018. Puunkorjuu ja kaukokuljetus vuonna 2017. Metsätehon tulostalvosarja 8a/2018. Metsäteho Oy. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tulostalvosarja_2018_08a_Puunkorjuu_ja_kaukokuljetus_vuonna_2017.pdf.
- Suomen kuljetus ja logistiikka SKAL ry. 2019a. Kuljetusbarometri 1/2019: Kuljetusalan odotukset kääntyivät laskuun–Kuljettajan työ säilyy ja monipuolistuu. [www-sivusto]. Saatavissa: <https://www.skal.fi/fi/julkaisut/kuljetusbarometri-12019-kuljetusalan-odotukset-kaantyyvat-laskuun-kuljettajan-tyo-sailyy>. [Viitattu 23.04.2019].
- Suomen kuljetus ja logistiikka SKAL ry. 2019b. Kuljetusbarometri 1/2019: Kuljetusalan odotukset kääntyivät laskuun–Kuljettajan työ säilyy ja monipuolistuu. Saatavissa: https://www.skal.fi/sites/default/files/kuljetusbarometrit/skal_kuljetusbarometri_1_2019_esitys.pdf. [Viitattu 23.04.2019].
- Tieliikennettä koskeva yleissopimus (30/1986). Annettu 01.04. 1986. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/1986/19860030#idp447496128>. [Viitattu: 01.05.2019].
- Tieyhdistys. 2019. Tieverkon merkitys yhteiskunnalle. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.tieyhdistys.fi/site/assets/files/1727/suomen_yksityistieverkko_matalaresoluutio.pdf. [Viitattu: 31.01.2020].
- Tilastokeskus. 2019. Puutavarayhdistelmä. Indeksit kustannustekijöittäin. Ei julkaistu Excel-taulukko. Vain Metsäteho Oy:n käyttöön. 22.10.2019. [Viitattu: 4.11.2019]
- Traficom. 2018. Raskaan liikenteen kaluston asetusmuutos. [www-sivusto]. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. 02.10.2018. Saatavissa: https://arkisto.trafi.fi/uutisarkisto/6553/raskaan_liikenteen_kaluston_asetusmuutos. [Viitattu: 13.07.2019].
- Traficom. 2019. Pitkät HCT-rekat yleistyvät. [www-sivusto]. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom. 13.06.2019. Saatavissa: <https://www.traficom.fi/fi/tilastot-ja-julkaisut/blogit/pitkat-hct-rekat-yleistyvat>. [Viitattu: 13.07.2019].
- Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2009. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. Kustannusosakeyhtiö Tammi. Helsinki. ISBN 978–951–31–5369–4. 182 s.
- Ventä, O., Lehtinen, H., Lempiäinen, J., Kyrki, V., Röning, J., Siren, A. & Latokartano, J. 2016. Robotiikkatiekartta. Julkaisussa: Sarlin, L. (toim.). Robotiikan taustaselvityksiä. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2/2016. Liikenne- ja viestintäministeriö. s. 6–33. Saatavissa: [http://urn.fi/URN:ISBN 978-952-243-470-8](http://urn.fi/URN:ISBN%20978-952-243-470-8). ISBN (verkkojulkaisu) 978-952-243-470-8.

- Ventä, O., Honkatukia, J., Häkkinen, K., Kettunen, O., Niemelä, M., Airaksinen, M. & Vainio, T. 2018. Robotisaation ja automatisaation vaikutukset Suomen kansantalouteen 2030. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 47/2018. Valtioneuvoston kanslia 16.10.2018. Saatavissa: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161102/47-2018-ROBOFINN_raportti_.pdf?sequence=1&isAllowed=y. ISBN 978-952-287-484-9.
- Venäläinen, P. & Ovaskainen, H. 2016. Terminaalitoiminnot energiatehokkaassa puutavaralogistiikassa T1 Nykytilaselvitys. Metsätehon tulosalvosarja 5/2016. Metsäteho Oy. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tuloskalvosarja_2016_05_Terminaalitoiminnot_energiatehokkaassa_puutavaralogistikassa.pdf.
- Venäläinen, P., Raatevaara, A., Pihlajisto, I., Melander, M., Hienonen, P., Hämäläinen, J. & Strandström, M. 2017. Tilannekuva ja automatisoitu tiedontuotanto metsäsektorin kuljetuksista. Metsätehon raportti 244. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Raportti_244_Tilannekuva-ja-automatisoitu-tiedontuotanto.pdf. ISSN 1796-2374.
- Venäläinen, P. 2019. Puutavara- ja hakeajoneuvojen pidentämisen vaikutukset. Metsätehon raportti 246. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Metsatehon_raportti_246_Puutavara_ja_hakeajoneuvojen_pidentamisen_vaiikutukset.pdf. ISSN 1796-2374.
- Viitanen, J. & Mutanen, A. 2015. Metsäsektorin suhdannekatsaus 2015–2016. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 60/2015. Luonnonvarakeskus (Luke). Helsinki 2015. Saatavissa: http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/519935/luke-luobio_60_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y. ISBN: 978-952-326-121-1.
- Volvo. 2019 a. Älykäs vakionopeudensäädin I-See. [www-sivusto]. Saatavissa: <https://www.volvotrucks.fi/fi-fi/trucks/volvo-fh/features/i-see.html>. [Viitattu: 1.11.2019].
- Volvo. 2019 b. Vera's First Assignment. [www-sivusto]. Saatavissa: <https://www.volvotrucks.com/en-en/news/volvo-trucks-magazine/2019/jun/Veras-First-Assignment.html>. [Viitattu: 09.01.2020].
- Väylävirasto. 2019 a. Liikenneverkko - Tieverkko. [www-sivusto]. Saatavissa: <https://vayla.fi/tieverkko#.XTcr6OgzZPY>. [Viitattu: 23.07.2019].

Väylävirasto. 2019 b. Puun käsittely maanteillä. Väyläviraston ohjeita 24/2019. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2019-24_puun_kasittely_web.pdf.

Väylävirasto. 2019 c. Aurora-älytie ja avoin kokeiluekosysteemi - Hankkeen loppuraportti. Väyläviraston julkaisuja 22/2019. Väylävirasto. Helsinki 2019. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-317-690-4>. ISBN 978-952-317-690-4.

Yksityistielaki (13.7.2018/560). Voimaantulo: 01.01.2019. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/smur/2018/20180560>. [Viitattu: 20.08.2019].

Haastattelut

Kuljetuksenantaja A. Haastattelu 24.09.2019.

Kuljetuksenantaja B. Haastattelu 26.09.2019.

Kuljetuksenantaja C. Haastattelu 01.10.2019.

Kuljetuksenantaja D. Haastattelu 08.10.2019.

Kuljetuksenantaja E. Skype-haastattelu 16.10.2019.

Kuljetusyrittäjä A. Haastattelu 22.10.2019.

Kuljetusyrittäjä B. Haastattelu 19.11.2019.

Kuljetusyrittäjä C. Puhelinhaastattelu 25.11.2019.

Kuljetusyrittäjä D. Puhelinhaastattelu 28.11.2019.

Kuormainvalmistaja A. Skype-haastattelu 20.11.2019.

Kuormainvalmistaja B1. Skype-haastattelu 26.11.2019.

Kuormainvalmistaja B2. Skype-haastattelu 13.12. 2019.

Ajoneuvovalmistaja A. Haastattelu 26.11.2019.

Ajoneuvovalmistaja B. Haastattelu 16.12.2019.

Tutkija A. Skype-haastattelu 10.12.2019.

Tutkija B. Skype-haastattelu 11.12.2019.

Tutkija C. Skype-haastattelu 13.12.2019.

Liikenneviranomainen A. Skype-haastattelu 11.12.2019.

LIITE 1

Haastattelukysymykset

Haastatteluiden vastaukset käsitellään luottamuksellisesti niin, ettei yksittäistä vastaajaa pysty tunnistamaan.

1. Millainen on puun autokuljetusketjun automaation nykytila?
2. Mikä on näkemyksesi puun autokuljetuksen automaation kehitysnäkymistä kul-
lakin kuljetusten automaation tasolla (ks. Taulukko 1)? Entä mitkä automaation
ratkaisut (eri tasoilta 0–5) vaikuttavat käyttöönoton kannalta todennäköisimmiltä
puun autokuljetusketjussa:
 - a) Seuraavan 3–5 vuoden kuluessa?
 - b) Yli 5 vuoden päästä?
3. Mitkä ovat puun autokuljetuksen automaation mahdollisuudet ja kehittämistar-
peet puun kuljetustoiminnan kannalta:
 - a. Teknologian osalta?
 - b. Tieinfrastruktuurin osalta?
 - c. Lainsäädännön ja vastuiden osalta?
 - d. Hyväksyttävyyden osalta?
 - e. Muut?
4. Mitä hyötyjä automaatiolla uskotte saavutettavan kuljetusketjun kussakin vai-
heessa (Kuva 1):
 - a) Tehokkuuden osalta?
 - b) Kustannusten osalta?
 - c) Turvallisuuden osalta?
 - d) Ympäristöystävällisyyden osalta?
 - e) Kuljettajan työssä viihtymisen osalta?
 - f) Muut?

5. Mitkä ovat sellaiset puun autokuljetuksen haasteet, joihin automaatiosta haetaan ratkaisua? Lastaus, kuljetus ja purku.
6. Mitä konkreettisia vaatimuksia osaltanne kohdistuu autokuljetuksen automatisoinnille eli mihin automaation on kyettävä vastaamaan?